

Sami Mäentausta

# Schneider Electric ATV600 –taajuusmuuttaja osana esineiden internetiä

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Sähkötekniikka / sähkövoimatekniikka

Insinöörityö

24.4.2017

Tekijä Otsikko  Sivumäärä Aika	Sami Mäentausta Schneider Electric ATV600 –taajuusmuuttaja osana esineiden internetiä  41 sivua + 1 liite 24.4.2017
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Sähkötekniikan koulutusohjelma
Suuntautumisvaihtoehto	Sähkövoimatekniikka
Ohjaaja	Lehtori Jukka Karppinen
<p>Työn tavoitteena oli perehtyä Schneider Electricin valmistaman ATV600-sarjan taajuusmuuttajan web-selainpohjaiseen käyttöliittymään ja tutkia taajuusmuuttajan IoT:hen liittyviä ominaisuuksia. Tarkoituksena oli saada selkeä käsitys siitä, millaisia ominaisuuksia IoT mahdollistaa, ja miten niitä on hyödynnetty tutkitussa taajuusmuuttajassa.</p> <p>Ymmärtääkseen taajuusmuuttajan sisältämien modernien ominaisuuksien tuomaa lisä-arvoa, täytyi ensiksi syventyä IoT:n konseptiin. Työssä tutkittiin IoT:n vaikutusta teollisuuteen ja automaatioon. Selvitettiin myös mitä teollisen internetin ja teollisuus 4.0:n konsepteilla tarkoitetaan.</p> <p>Työ sisältää neljä osa-aluetta, jotka mahdollistavat selkeämmän käsityksen tutkitun taajuusmuuttajan toiminnoista ja asemasta uudistuneessa teollisessa ympäristössä.</p> <p>Ensimmäisessä osiossa tutkittiin IoT:hen liittyviä ilmiöitä ja niiden hyödyntämistä teollisessa prosessissa. IoT:n yhteydessä perehdyttiin myös älykkäiden koneiden konseptiin. Toisessa osiossa selvitettiin IoT:n vaikutusta automaatiojärjestelmiin. Kolmannessa osiossa käsiteltiin taajuusmuuttajaan liittyvää teoriaa. Lopuksi syvennettiin tutkittavana olleen Schneider Electric ATV600:n nykyaikaisiin toimintoihin ja verrattiin niitä työn edellisissä osioissa esille tuotujen mahdollisuuksien kanssa.</p> <p>Tuloksena saatiin kokonaisvaltainen käsitys siitä, mistä IoT:ssa ja Schneider Electric ATV600 -taajuusmuuttajassa on kyse.</p>	
Avainsanat	Internet of Things, Industrial Internet of Things, Industry 4.0, Smart Machine, pilvilaskenta, automaatio, taajuusmuuttaja, Schneider Electric

Author Title	Sami Mäentausta Schneider Electric ATV600 VSD as a Part of Internet of Things
Number of Pages Date	41 pages + 1 appendix 24 April 2017
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Electrical Engineering
Specialisation option	Electrical Power Engineering
Instructor	Jukka Karppinen, Senior Lecturer
<p>The main goal of this study was to analyze the embedded web server interface of Schneider Electric ATV600 series variable-speed drive and its features related to IoT. The purpose of this thesis is to illustrate what sort of features IoT enables and how those have been utilized in ATV600 variable-speed drives.</p> <p>In order to comprehend and embrace the added value of all the modern features of the ATV600 VSD one must apply one's mind to the core concept of IoT. This thesis tries to map the IoT's impact on industries and automation. Also the concepts of Industrial Internet and Industry 4.0 are clarified.</p> <p>This thesis is split into four parts that makes it possible to understand more clearly the features of the ATV600 VSD and its status on a modern industrial environment. Different aspects of the IoT phenomenon and how to utilize those are illustrated in the first part of this study along with the concept of Smart Machines. The second part concentrates on IoT's impact on automation systems and third part deals with the general theory of VSD's. Fourth part concludes the study by clarifying the modern features of the Schneider Electric ATV600 and by comparing those to the multiple possibilities introduced in previous chapters.</p> <p>As the result, this study gives comprehensive information on the concept of IoT and Schneider Electric ATV600 variable-speed drive.</p>	
Keywords	Internet of Things, Industrial Internet of Things, Industry 4.0, Smart Machine, Cloud computing, automation, Variable Speed Drive, Schneider Electric

## Sisällys

### Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Internet of Things	2
2.1	Määritelmä	2
2.2	Teollinen internet ja teollisuus 4.0	3
2.3	Teollisen internetin etuja ja tavoitteita	4
2.4	Machine to Machine	6
2.5	Pilvilaskenta ja Big Data	6
2.6	Pilvipalveluiden etuja ja haittoja	10
2.7	Analytiikan hyödyntäminen teollisuudessa	11
2.8	Älykkäät koneet	13
2.9	Teollisuus 4.0:n haasteita ja tulevaisuuden näkymiä	15
3	IoT ja automaatio	17
3.1	PLC	17
3.2	Muita kontrollijärjestelmiä	18
3.3	Älykkäät anturit ja RTU	19
3.4	IoT:n vaikutus automaatioon	20
4	Taajuusmuuttaja	22
4.1	Etuja ja haittoja	22
4.2	Rakenne ja toiminta	24
5	Schneider Electric ATV600 -taajuusmuuttaja	28
5.1	Schneider Electric	28
5.2	ATV600-taajuusmuuttaja	28
5.3	Palvelukeskeinen arkkitehtuuri	30
5.4	Web-selaimeen pohjautuva käyttöliittymä ja sen käyttö	33
5.5	Suoritettu koeajo ja arvioiti	35
5.6	SoMove	37
5.7	Liitettävyyys verkkoon	38

6	Yhteenveto	40
6.1	Tutkimustyö	40
6.2	ATV600-taajuusmuuttajan ominaisuudet ja positio	40
6.3	Arvio tulevaisuuden teollisuudesta	41

	Lähteet	42
--	---------	----

## Liitteet

Liite 1. Ohjeet tietokoneen liittämiseksi ATV600:n web-palvelimeen

## Lyhenteet

ASIC	<i>Application Specific Integrated Circuit.</i> Sovelluskohtainen mikropiiri.
CANopen	Automaatiossa käytetty protokolla.
CSI	<i>Current Source Inverter.</i> Virtavälipiirillinen taajuusmuuttaja.
DaaS	<i>Data as a Service.</i> Palvelu, jossa tarjotaan resursseja datan säilyttämiseen.
DCS	<i>Distributed Control System.</i> Tietokonepohjainen teollisuuden kontrollijärjestelmä.
DTC	<i>Direct Torque Control.</i> Taajuusmuuttajissa käytetty suora vääntömomentin säätö.
DTM	<i>Device Type Manager.</i>
ERP	<i>Enterprise Resource Planning.</i> Toiminnanohjausjärjestelmä.
EtherCAT	<i>Ethernet for Control Automation Technology.</i> Ethernet-pohjainen kenttäväyläjärjestelmä.
Ethernet	Lähiverkko.
FDT	<i>Field Device Tool.</i> Avoin standardi, jonka tarkoituksena on helpottaa kyberfyysisten järjestelmien integraatiota modernissa teollisuudessa.
GTO	<i>Gate Turn-Off thyristor.</i> Hilalta ohjattava tehoelektroniikkakomponentti.
HMI	<i>Human Machine Interface.</i>
IaaS	<i>Infrastructure as a Service.</i> Pilvipalvelu, jossa tarjotaan palvelimen ulkoistamista.

IGBT	<i>Insulated Gate Bipolar Transistor</i> . Ohjattavissa oleva tehoelektronikassa käytetty transistori.
IIC	<i>Industrial Internet Consortium</i> . Teollisen internetin kehittämiseen keskittynyt organisaatio.
IIoT	<i>Industrial Internet of Things</i> . Teollinen internet.
IoT	<i>Internet of Things</i> . Esineiden internet.
IoT Gateway Laite, joka mahdollistaa erilaisten antureiden ja kontrollijärjestelmien käsittelemän informaation muuntamisen sellaiseen muotoon, että se on yhteensopiva pilvipalvelun kanssa.	
M2M	<i>Machine to Machine</i> . Laitteiden tai koneiden välinen kommunikaatio.
MES	<i>Manufacturing Execution System</i> . Tuotannonohjaus.
Modbus	Sarjaliikenneprotokolla, joka on alunperin tarkoitettu käytettäväksi ohjelmoitavien logiikoiden kanssa.
MOSFET	<i>Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor</i> . Ohjattavissa oleva transistori, jota käytetään digitaalisissa tai analogisissa piireissä.
OPC	<i>OLE for Process Control</i> . Avoimen tiedonsiirron standardi, jota käytetään teollisuuden automaatio-sovelluksissa.
PaaS	<i>Platform as a Service</i> . Palvelu, joka tarjoaa ulkoistetun kehitysalustan.
PAC	<i>Programmable Automation Controller</i> . Teollisuudessa käytetty kontrollijärjestelmä, jossa yhdistyy teollisuus PC ja PLC.
PLC	<i>Programmable Logic Controller</i> . Teollisuudessa käytetty ohjelmoitava kontrollijärjestelmä.
Profibus	<i>Process field bus</i> . Kenttäväyläjärjestelmä.

Profinet	<i>Process field net.</i> Teollisuuden ethernetissä käytetty tietoliikennestandardi.
Protokolla	Standardi, joka mahdollistaa laitteiden tai ohjelmien väliset yhteydet.
PWM	<i>Pulse Width Modulation.</i> Pulssinleveysmodulaatio.
RaspberryPI	Ohjelmoitavissa oleva yhden piirilevyn tietokone.
RTU	<i>Remote Terminal Unit.</i> Mikroprosessoripohjainen elektroninen laite, joka toimii rajapintana kentällä sijaitsevien fyysisten laitteiden ja valvontajärjestelmien välillä.
SaaS	<i>Software as a Service.</i> Palvelu, joka mahdollistaa ohjelmiston ulkoistamisen ja käytön verkkoselaimella.
SCADA	<i>Supervisory Control And Data Acquisition.</i> Tietokoneella toteutettu graafinen käyttöliittymä, jolla voidaan ohjata ja valvoa laitteita teollisessa ympäristössä.
SOA	Service Oriented Architecture. Palvelukeskeinen arkkitehtuuri, jossa järjestelmien toiminnot ja prosessit ovat suunniteltu toimimaan itsenäisinä ja joustavina palveluina.
SOD	<i>Service Oriented Drive.</i> Palvelukeskeinen taajuusmuuttaja
VFD	<i>Variable Frequency Drive.</i> Taajuusmuuttaja.
VSD	<i>Variable Speed Drive.</i> Taajuusmuuttaja.
VSI	<i>Voltage Source Inverter.</i> Jännitevälipiirillinen taajuusmuuttaja.
XaaS	<i>Anything as a Service.</i> Yleiskäsite, joka kattaa kaikki pilvipalvelut.



## 1 Johdanto

Teollisuus on jatkuvassa muutostilassa. Höyrykoneen keksimisestä on tultu pitkä matka nyt käsillä olevaan uuteen murrosvaiheeseen. Internet of Things edustaa teknisen kehityksen evolutionääristä huippua, joka on osa jatkuvasti kehittyvää prosessia. Sähkön, radion, tietokoneen ja maailmanlaajuisen tietoliikenneverkon keksiminen ovat johtaneet maailmaan, jossa lähes jokainen länsimaalainen ihminen kulkee internet-yhteys taskussaan.

Internet ei enää rajoitu pelkästään ihmisten väliseen viestintään, vaan nyt myös esineet ovat oppineet kommunikoimaan keskenään. On alkamassa uudenlainen internetin valtakausi. Internet of Things on mullistamassa monia asioita. Saatavan tiedon määrä kasvaa, tiedonkulku nopeutuu ja tutkimuksien tekeminen helpottuu. Siksi onkin sopivaa, että tämän työn tekemiseen käytetty lähdemateriaali on pääosin hankittu internetistä. Tässä työssä on pyritty selvittämään, mitä esineiden internet tarkoittaa teollisuuden perspektiivistä tarkasteltuna. Oli johdonmukaista aloittaa työ tekemällä tutkimus esineiden internetiin liittyvistä ilmiöistä, vaikutuksista ja mahdollisuuksista liittyen teolliseen prosessiin. Edellä mainitut asiat liittyvät merkittävällä tavalla itse tutkimuksen kohteena olevaan laitteeseen, joka edustaa taajuusmuuttajien kehityksen kärkeä.

Schneider Electricin valmistamat Altivar Process 600 -tuotesarjan taajuusmuuttajat on tarkoitettu täyttämään uudistustilassa olevan teollisuuden tarpeita. Kyseisissä taajuusmuuttajissa on sisäänrakennettu web-selainpohjainen käyttöliittymä, ja ne sisältävät joukon muita toimintoja, joita voidaan nimittää ns. älykkäiksi ominaisuuksiksi. ATV600-sarjan taajuusmuuttajat pyrkivät myös hyödyntämään monia muita internetin tarjoamia mahdollisuuksia. Tämän työn tavoitteena oli selvittää, kuinka tutkimuksen kohteena ollut taajuusmuuttaja osaa hyödyntää internetin mahdollisuuksia ja miten taajuusmuuttaja sijoittuu osaksi esineiden internetin konseptia.

Työn lopussa vielä pohditaan minkälaiseen suuntaan kehitys on mahdollisesti ajautumassa. Lisäksi verrataan ATV600-taajuusmuuttajan ominaisuuksia IoT:hen keskittyneen työn osa-alueen esille tuomien asioiden kanssa.

## 2 Internet of Things

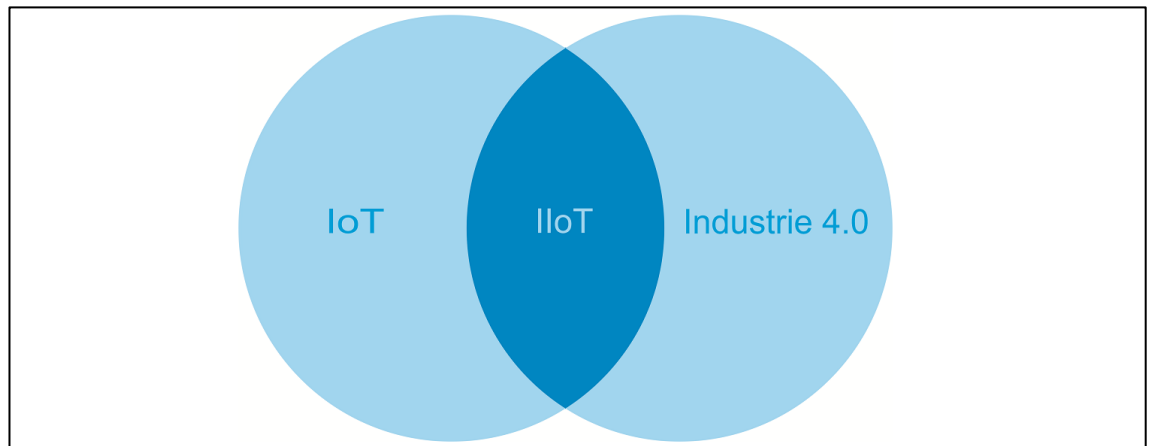
### 2.1 Määritelmä

Esineiden internetistä käytetään lyhennettä IoT, joka tulee englanninkielisestä termistä Internet of Things. Yksinkertaisimmillaan IoT:ta voidaan kuvata systeemillä, jossa fyysisen maailman esineet tai niihin kytketyt tietotekniset ominaisuudet ovat tiedonsirtoyhteydessä keskenään internetin välityksellä, joko kiinteällä tai langattomalla yhteydellä. IoT:n käsitettä voidaan kuitenkin laajentaa esineiden välisen informaation lisäksi kattamaan myös suurempaa kokonaisuutta, kuten esineisiin liittyvän informaation käsittelyä, ohjelmistoja, pilvipalveluja jne. Esineiden internetiin liittyy usein myös esineiden tai koneiden ominaisuus aistia ympäristöään, kommunikoida ja jakaa keräämäänsä dataa pilvipalveluihin. Myös erilliset operaattorit voivat mitata, säätää ja ohjata koneita internetin välityksellä. IoT:n tarkemman määrittelyn tekee haasteelliseksi konseptin käsittämisen kokonaisuuden jatkuva muuttuminen. [1; 2; 3.]

Esineiden internetin yhteydessä törmää usein käsitteisiin, kuten teollinen internet (engl. *Industrial Internet of Things*, lyh. *IIoT*), teollisuus 4.0 (engl. *Industry 4.0* tai saks. *Industrie 4.0*) tai Machine-to-Machine (lyh. *M2M*). Edellä mainitut käsitteet voidaan ymmärtää erilaisina IoT:n osa-alueina. Jokaista edellä mainittua käsitettä näkee mainittavan samojen asioiden yhteydessä, ja niiden selkeä erottelu jää usein omalle vastuulle. Muita IoT:n yhteydessä usein esiintyviä käsitteitä ovat mm. Internet of Everything, Internet of Businesses Process, Internet of Services, Cloud Computing, Cloud Services ja Big Data.

## 2.2 Teollinen internet ja teollisuus 4.0

Teollinen internet ja Teollisuus 4.0 ovat nimityksiä erillisille konsepteille, jotka usein ymmärretään kuvaamaan samaa asiaa. Esineiden internetistä edellä mainitut termit poikkeavat siinä, että niillä tarkoitetaan pääasiassa teollisuuteen ja liiketalouteen liittyvää esineiden internetiä. Kuva 1 havainnollistaa käsitteiden välisiä suhteita. [4.]



Kuva 1. Internet of Things ja Industrie 4.0 muodostavat yhdessä teollisen internetin.

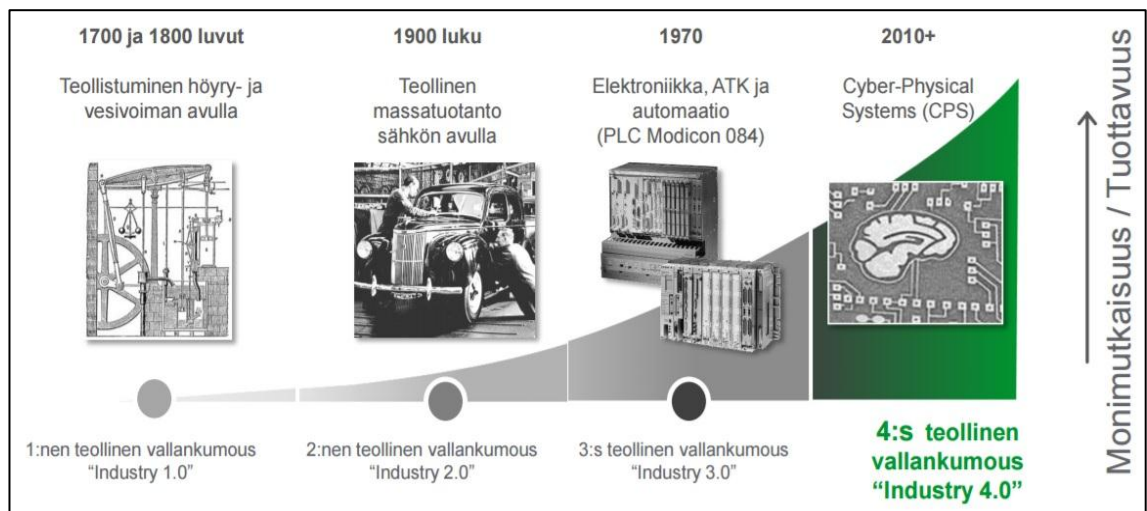
Teollisen internetin ydinasioita ovat koneisiin integroidut anturit, älykkäät toiminnot, tietoliikenneyhteydet, tietokannat ja datan analytiikka. Eräs merkittävä teollisen internetin konseptiin liittyvä organisaatio on *Industrial Internet Consortium* (lyh. *IIC*). IIC on tuottoa tavoittelematon organisaatio, jonka perustivat GE, AT&T, Cisco, Intel ja IBM vuonna 2014. IIC:n tarkoituksena on tarjota resursseja, ideoita, pilottiprojekteja ja aktiviteetteja liittyen teolliseen internetiin. [4.]

Teollisuus 4.0 eroaa teollisen internetin käsitteestä joidenkin mielestä siinä, että se on keskittynyt pääosin älykkääseen teolliseen prosessiin (engl. *Smart Factory*), kun taas teollisessa internetissä on enemmän kyse tiedon jakamisesta, analytiikasta, verkostoitumisesta ja liiketoiminnan talouspuoleen liittyvistä ulottuvuuksista. Molemmat konseptit mielletään kuitenkin käytännössä samaksi asiaksi, ja ne esiintyvät usein samoissa asiayhteyksissä. Teollisuus 4.0:ssa keskeisiä asioita ovat älykkäiden järjestelmien ja koneiden hyödyntäminen osana teollista prosessia. Teollisuus 4.0:n käsite ulottuu kuitenkin myös tehtaan ulkopuolelle. IoT mahdollistaa tuotannon, prosessien ja toimintojen hajauttamista maantieteellisesti. Kyberfysisiä järjestelmiä on

mahdollisuus hallita ja valvoa käytännössä mistä tahansa, missä vain on internet-yhteys. [4; 5.]

Älykkään tehdasympäristön ominaisuuksina voidaan pitää koneiden ja tuotantoketjujen kykyä omaksua tietoa, ilmoittaa vioista ja optimoida toimintaansa. Tulevaisuuden visiossa laitteet myös pystyvät syväanalysoimaan toimintaansa, palautumaan vikaantumistilanteista ilman ihmisen apua ja suorittamaan prosesseihin liittyviä hankalia päätöksiä. Älykkäitä koneita voidaan hyödyntää käyttämällä niitä ihmisen sijasta hankalissa ja vaarallisissa olosuhteissa, jolloin ihmisen turvallisuus ja mukavuus kohenee. [5.]

Teollisuus 4.0 eroaa teollisen internetin käsitteestä myös konseptin alkuperän vuoksi, sillä termi pohjautuu Saksan hallituksen teknologiahankkeeseen. Voidaan ajatella, että teollisuus 4.0 kuvaa teollisen vallankumouksen neljättä aaltoa. Kuva 2 havainnollistaa teollisuuden kehittymistä. [4; 6.]



Kuva 2. Neljä teollista vallankumousta ja tuottavuuden kehittyminen [9].

### 2.3 Teollisen internetin etuja ja tavoitteita

Teollisen internetin liiketoiminnallinen tavoite painottuu internetiin sidoksissa olevan teknologian, teollisuuden, palveluiden ja yritysten verkostojen kehittämiseen. Tavoitteena on hyödyntää IoT:n mahdollisuuksia siten, että yritysten kannattavuus kohenee ja tuotanto tehostuu. Myös eri alojen tehostunut yhteistyö on kasvavassa

roolissa. Kasvanut datan määrä pyritään jalostamaan yritysten ja asiakkaiden tueksi. Myös uusien teknologioiden ja niihin liittyvien tukimusten kehittäminen on osa jatkuvaa prosessia. Kyberfysiinen teknologia pyritään standardisoimaan, jotta eri prosessien ja toimintojen välinen integraatio mahdollistuisi paremmin. Kun älykkäät laitteet yhdistetään edistyneeseen datan analytiikkaan, on lopputuloksena alentuneet kustannukset ja parantunut kilpailukyky. [7.]

Tuotannollisella tasolla keskeisiä tavoitteita ovat mm. tuotteiden laadun kehittäminen, kohentunut asiakastyytyväisyys sekä valmistajan ja asiakkaan suhteen syventäminen. Digitalisaation yhtenä merkittävänä etuna voidaan pitää prosessin läpinäkyvyyttä, josta hyöttyy sekä asiakas että palvelun tai tuotteen tarjoava yritys. On mahdollisuus tehdä valistuneempia päätöksiä tuotteen kehittämisen suhteen, kun pystytään paremmin analysoimaan valmistusprosessia ja itse tuotetta. Datan kerääminen ja varastoiminen mahdollistaa sen, että asiakkaalla on helppo ja nopea pääsy tietoihin, joista selviää tuotteen yksityiskohtainen valmistusprosessi, tuotteen käyttöhistoria sekä käyttö- ja huolto-ohjeet. Yksityiskohtainen ja nopea tiedonkulku auttaa asiakasta ongelmatilanteissa, nopeuttaen varaosien ja korvaavien tuotteiden hankkimista. Tuotteiden monitorointi internetin välityksellä mahdollistaa kohentuneen tuotekehittelyn, sillä jo käytössä olevien tuotteiden toimintoihin liittyvä reaaliaikainen tieto on hyödyksi uusien versioiden suunnittelussa. Tuotantoa pyritään automatisoimaan mahdollisimman kattavasti, ja tavoitteena on jopa tuotannon valvonnan siirtäminen automaatiojärjestelmän vastuulle. [6; 8; 9.]

Yksi keskeisimmistä tavoitteista teollisen internetin käytännön sovelluksissa on ennakoivan analytiikan hyödyntäminen. Teollisen prosessin reaaliaikaisesti tarjoaman raakadatan avulla on mahdollisuus analysoida toimintaa ja ennakoida tallennetun historian perusteella tulevia vikoja ja huoltotarpeita. Digitaalisaatioon liittyvä analytiikka mahdollistaa myös sen, että sen avulla pystytään helpommin ymmärtämään asioita, joihin ihmisen käsityskyky ei muuten riittäisi. Erilaisten algoritmien avulla voidaan käsitellä kerättyä dataa siten, että se on helpommin ymmärrettävissä. [6; 8; 9.]

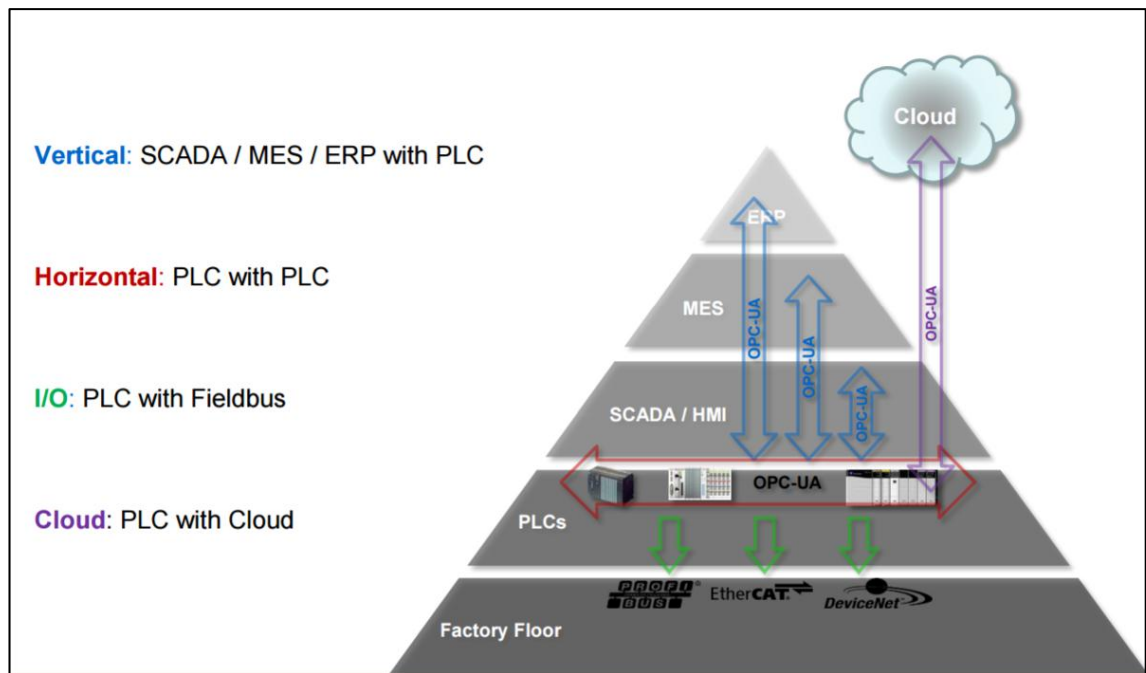
## 2.4 Machine to Machine

Machine to Machine eli M2M on konsepti, joka esiintyy usein teollisen internetin yhteydessä. M2M on termi, jolla kuvataan yleisesti esineiden tai koneiden välistä tiedonsiirtoa. Teollisuudessa M2M:llä tarkoitetaan eristettyä systeemiä, jossa koneisiin kytketyt anturit ja ohjauspiirit ovat kytkettynä joko kiinteään tai langattomaan verkkoon. M2M:ää voidaan pitää teollisen internetin edeltäjänä. Kyseessä on automatisoidun järjestelmän tietotekniikalla jalostettu muoto. Yhteistä M2M:llä on teollisen internetin kanssa myös se, että molemmissa tapauksessa koneita tai prosesseja voidaan etäkäyttää. Teollinen internet poikkeaa M2M:stä siinä, että käytetty verkkoyhteys on IP-pohjainen, ja se on yleensä kytketty osaksi laajempaa kokonaisuutta. Teolliseen internetiin liittyy myös koneiden jakaman datan lähettäminen pilvipalveluun, jossa sitä jatkojalostetaan ja analysoidaan prosessin kehittämiseksi. [10.]

## 2.5 Pilvilaskenta ja Big Data

Pilvilaskenta (engl. *Cloud Computing*) on konsepti, joka on ilmaantunut tietoisuuteen viimeisen kymmenen vuoden aikana. Se on osa vastausta kasvaneeseen datan määrään. Yritykset ovat ajautuneet tilanteeseen, jossa ei ole enää järkevää kuormittaa omaa paikallista IT-osastoa tarpeettoman suurilla tietomäärillä. Nopea teknologinen kehitys ja taloudelliset realiteetit ovat ajaneet monet organisaatiot tilanteeseen, jossa perinteisillä IT-ratkaisuilla ei enää pärjätä nopeasti muuttuvassa ympäristössä. Pilvilaskennan avulla yritykset voivat jakaa tiedonkäsittelyn taakkaa ulkoistamalla merkittävän osan datankäsittelystä. Pilvipalvelut toimivat myös hyvänä kanavana jakaa tietoa muiden kanssa, mikä tehostaa yhteistyöverkostoja ja mahdollistaa paremmin toiminnan hajauttamista. [11; 12.]

Kuvassa 3 esitellään datan liikkuvuutta teollisuuden eri tasoissa. Sen lisäksi, että tiedonsiirtoa tapahtuu teollisuudessa sisäisessä verkossa, hyödynnetään nykyään myös pilvipalveluiden tuomia mahdollisuuksia. Pilvilaskenta alkaa olemaan yhä keskeisemmässä asemassa teollisuuteen liittyvissä järjestelmissä. [11; 12; 13.]



Kuva 3. Daton liikkuvuus teollisessa ympäristössä. Nykyään dataa siirtyy myös pilveen. [13.]

Pilvilaskenta voidaan yksinkertaisimmillaan määritellä olevan ulkoisesti isännöity web-palvelin, jonka kapasiteettia voidaan hyödyntää internetin välityksellä. Pilvilaskennan malleja ovat julkinen, yksityinen ja hybridi. Julkisessa mallissa pilvipalvelut ovat vapaasti käytettävissä, ja asiakkaat maksavat ainoastaan käyttämistään resursseista. Yksityinen malli mahdollistaa paremman turvallisuuden ja kontrollin. Yksityisessä mallissa tarjotaan palveluita yrityksen data-keskuksesta käsin käyttäjille, mikä mahdollistaa paremman joustavuuden ja kontrollin. Yksityinen malli myös edellyttää enemmän resursseja ja pääomaa, sillä se edellyttää enemmän kiinteää laitteistoa, varastointikapasiteettia ja ylläpitoa. Hybridipilvi liittyy yhteen molemmat edellä mainitut mallit. Hybridimallin tavoitteena on mahdollistaa skaalattavissa ja automatisoitavissa oleva infrastruktuuri. [12; 14.]

Pilvilaskentaan liittyy myös muita ulottuvuuksia. Keskeisimpiä ovat erilaiset pilvipalvelut (engl. *Cloud Services*). Pilvipalvelut sisältävät eri tasoja:

- SaaS (Software as a service)
- IaaS (Infrastructure as a Service)
- PaaS (Platform as a Service)
- DaaS (Data as a Service).

Edellä listatuista palveluista käytetään toisinaan myös yleisnimitystä XaaS (Anything as a Service). [12.]

IaaS-taso kattaa käytännössä hardwaren. Tämä taso sisältää tyypillisesti verkkoyhteydet, tallennustilan, palvelimet ja ylläpitopalvelut. IaaS-tasossa kyse on yleensä virtuaalikoneinstanssista, jonka kautta voidaan operoida omia sovelluksia ja palveluita. Tason tärkeimmät ominaisuudet asiakkaan kannalta ovat tallennustilan ja laskentatehon tarjoaminen. [15.]

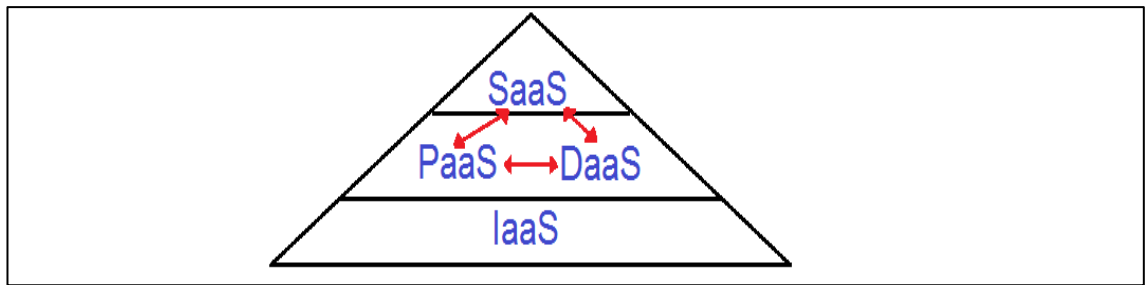
PaaS-taso on joustava kehitysalusta, jolla mahdollistetaan ohjelmakehitystä ja teknistä kehitystä tarjoamalla työvälineet ladata omia sovelluksia osaksi kokonaisuutta. PaaS-taso hyödyntää alla olevaa IaaS-tasoa. PaaS-alusta toimii ohjelmistokoodin käyttöalustana, jossa palvelun tarjoaja käynnistää ja ajaa ohjelman. Palvelussa on yleensä kyse paketista, jossa tarjotaan myös käytettävä ohjelmistokoodi. Usein PaaS-palvelu kattaa myös mahdollisuuden tiedon tallentamiseen ja yhteydenoton muihin palveluihin. [15.]

SaaS-taso poikkeaa edellä mainituista tasosta konkreettisimmin siinä, että se on tarkoitettu loppukäyttäjän käyttöön. SaaS-tasossa ohjelmisto on tarjottu palvelu, ja tarjottu tuotantoympäristö palvelee yleisesti useampaa asiakasta. SaaS-ohjelmistoa käytetään tavallisesti internet-selaimella. Yrityksen omia ohjelmistoja voidaan myös kasvattaa liittämällä SaaS-palveluita niihin. [12; 15.]

DaaS-taso vapauttaa organisaatiot kalliiden tietokantainfrastruktuureiden hankinnalta. Tarjottu palvelu kattaa datan ja tietokantojen varastoinnin. [12.]

Pilvipalveluiden eri tasot myös linkittyvät usein keskenään, IaaS-tason toimiessa perustana muille tasoille. Tarvittavat ominaisuudet määrittelevät, kuinka monta eri pilvipalvelun tasoa vaaditaan kattamaan asiakkaan tarpeet. Tilatussa pilvipalvelussa voi siis olla kaikki eri tasot kaikenkattavassa paketissa. Kuvassa 4 on graafinen esitys pilvipalveluiden välisestä hierarkiasta vuorovaikutussuhteineen. [12; 15.]





Kuva 4. Pilvipalvelutasojen väliset suhteet ja vuorovaikutukset.

Eräs pilvipalveluja tarjoava yritys on suomalainen Wapice. Wapicen IoT-Ticket on kaikenkattava pilvipalvelualusta, joka on tarkoitettu erityisesti teollisuuden tarpeisiin. IoT-Ticket mahdollistaa mm. datan keräämisen, raportoinnin, web-käyttöliittymän ja analytiikan. Ominaista IoT-Ticketille ja muille vastaaville teollisuuteen erikoistuneille pilvipalveluille on, että niitä voidaan räätälöidä graafisesti kattamaan vaadittuja ominaisuuksia. Asiakas voi helposti rakentaa itselleen ns. *Dashboardin*, josta käy halutulla tavalla graafisesti ilmi teollisiin prosesseihin liittyviä oleellisia tietoja. Teollisuutta varten räätälöidyn pilvipalvelun avulla voidaan monitoroida, hallita ja analysoida teollisia toimintoja. IoT-Ticket mahdollistaa myös mobiilisovellusten luomisen. Kuvassa 5 on esitettynä erästä pumppusovellusta varten räätälöity Dashboard-näkymä. [16.]



Kuva 5. Wapicen IoT-Ticketillä on mahdollista rakentaa prosessia selkeyttävä näkymä [17].

## 2.6 Pilvipalveluiden etuja ja haittoja

IaaS-palveluissa etuna on palvelun tarkoituksenmukainen skaalautuvuus. Palvelu ja siihen sisältyvät resurssit voidaan skaalata vastaamaan tarpeita, jolloin kustannukset vastaavat tarkasti käyttöastetta. Jos yritys hankkisi kaiken tarvitsemansa infrastruktuurin itse, tapahtuisi se siten, että täytyisi osata ennakoida myös tulevia tarpeita. IT-Infrastruktuuria täytyisi päivittää myös aika-ajoin. Lienee selvää, että pilvipalvelun käyttö tulee taloudellisesti edullisemmaksi. Yritys voi myös keskittyä paremmin oman liiketoimintansa kannalta oleellisempiin asioihin, kun IT-puoli kuormittaa resursseja vähemmän. [15.]

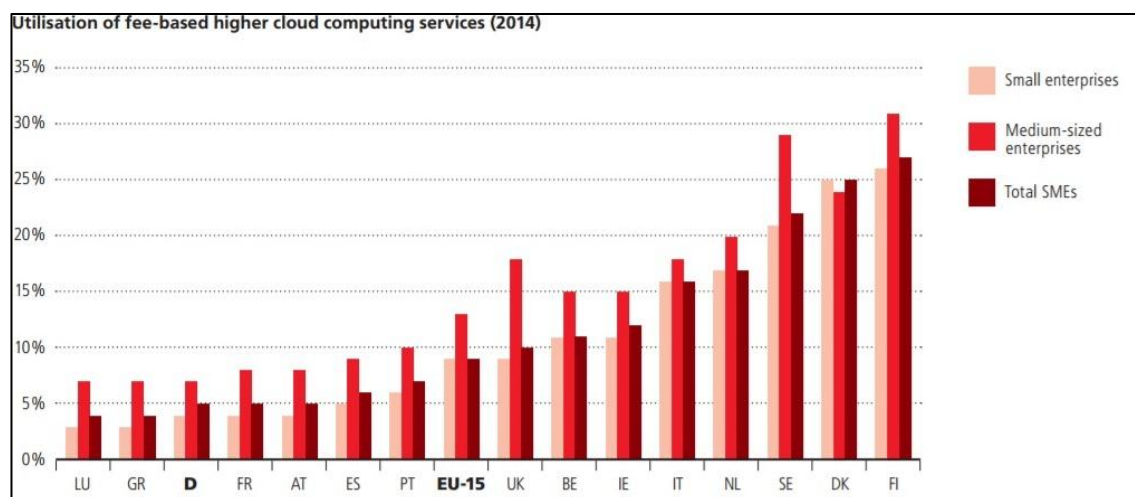
PaaS-palveluiden ominaisuutena on myös palvelun skaalautuvuus. Etuna voidaan pitää alustan ominaisuutta skaalautua ohjelmiston kasvaessa tai tehontarpeen lisääntyessä. Kehittäjän ei tarvitse huolehtia resursseista, sillä alustaa voidaan laajentaa joustavasti tarpeen niin sanellessa. PaaS-palvelun etuna voidaan myös pitää säästöjä ylläpitokustannuksissa ja riskinhallinnassa. Projektin epäonnistuessa pilvipalvelu tulee edullisemmaksi, mikäli verrataan vaihtoehtoisesti tilanteeseen, jossa yritykselle on hankittu oma kehitysympäristö. [15.]

Myös SaaS-palvelut kattaa samankaltaisen joukon etuja, kuten aiemmin mainitut IaaS- ja PaaS-palvelut. Joustava palvelun räätälöitävyys tekee helpommaksi ja kustannustehokkaammaksi ohjelmistojen käytön silloin, kun organisaatio muuttuu tai kehittyy. Lisäksi internetyhteys ja web-selain ovat ainoat vaadittavat asiat, joten käyttö onnistuu helposti melkein mistä tahansa. [18.]

Pilvipalveluiden haittapuoliakin on. Pilvilaskenta ei ole vielä kovin kehittynyt, mitä tulee järjestelmien standardointiin. Asiakas on käytännössä pakotettu soveltamaan palveluntarjoajan suosimia ohjelmointirajapintoja, joten ketterä siirtyminen palveluntarjoajien välillä on hankalaa. Palveluntarjoajan olemassaolo pitkällä tähtäimellä on myös kysymysmerkki. Palveluntarjoajalla on täysivaltainen kontrolli tarjoamiensa palveluiden suhteen, joten sekin aiheuttaa epävarmuutta. Turvallisuuteenkaan ei täysin luoteta. Ovathan yritykselle tärkeät tiedot käytännössä organisaation ulkopuolisella taholla. Kuka on vastuussa tietojen mahdollisesta vuotamisesta esim. kilpailijoiden käsiin? Internetyhteys asettaa omat huolensa. Palvelut edellyttävät toimivaa yhteyttä, eikä ole takuuta, että ongelmilta vältyttäisi

täysin. Palveluihin ei myöskään päästä käsiksi, jos palveluntarjoajan päädyssä ilmenee vikoja. Myös palveluihin liittyvät lakisäädökset jättävät arvoituksia. [12.]

Kuvassa 6 on esitetty pilvipalveluiden maakohtainen suosio vuonna 2014 pienissä ja keskisuurissa yrityksissä. Huomionarvoista on, että Suomi sijoittuu vertailun kärkeen.



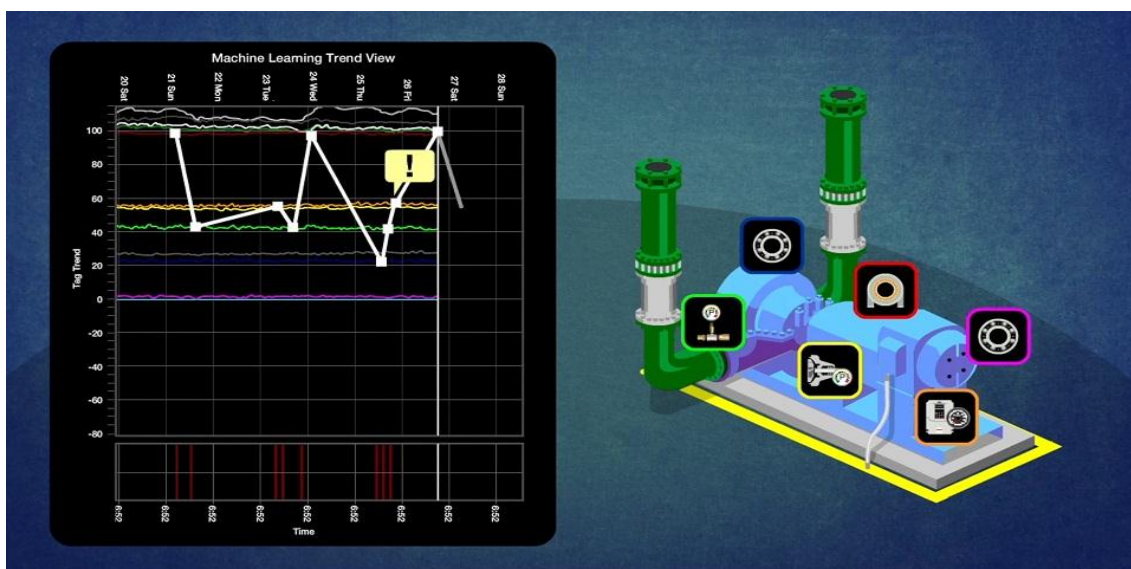
Kuva 6. Pilvipalveluiden hyödyntäminen pienissä ja keskisuurissa yrityksissä [19].

## 2.7 Analytiikan hyödyntäminen teollisuudessa

Datan analytiikka on jo nyt merkittävässä roolissa monissa teollisen alan yrityksissä. Erityisen merkittävää datan analytiikka on sähkötekniikassa ja elektroniikkateollisuudessa, koska kyseisten alojen tuotteet ja järjestelmät tuottavat valtavasti informaatiota. Suurin osa yrityksistä ovat vakuuttuneita siitä, että datan tehokas analyysi tulee olemaan erityisen tärkeää tulevaisuuden kilpailukykyä ajatellen. [20.]

Laitteista ja prosesseista saatavan raakadatan avulla voidaan tutkia joko yksittäisiä asioita tai suurempia kokonaisuuksia. Voidaan tehdä johtopäätöksiä siitä, miten yksittäinen asia vaikuttaa suuremmassa mittakaavassa. Tämä mahdollistaa tehokkaampaa resurssien käyttöä. Kerätyn datan pohjalta voidaan nähdä erilaisia trendejä, joiden pohjalta pystytään tekemään reaaliaikaisia johtopäätöksiä mahdollisten tulevaisuuden poikkeamien suhteen. Yksinkertaisena esimerkkinä voidaan vaikka analysoida lämpötilan vaikutusta koneen toimintaan ja käyttöikään. Todellisuudessa

erilaiset riippuvuussuhteet eivät ole näin yksinkertaisia, vaan muuttujia voi olla huomattavasti enemmän. Tällöin automatisoidut analyttiset menetelmät ovat tehokas apukeino. Datan analysoinnin avulla pystytään myös havaitsemaan paremmin yksittäisiä ongelmatilanteita (kuva 7), joihin ei muuten osattaisi kiinnittää huomiota monimutkaisissa tuotantoympäristöissä. Ennakoivassa huollossa käytetään hyväksi kerättyä dataa, jonka avulla voidaan havaita vikaantumista edeltäviä toistuvia ”oireita”. Kun pystytään ennakoimaan huoltotarpeet ja välttämään mahdollisia hajoamistilanteita, saadaan prosessi pidettyä käynnissä ilman katkoksia. Analytiikka auttaa siis tehostamaan tuotantoa ja ennaltaehkäisemään taloudellisia vahinkoja. Perinteisten ja paikallisesti tehtaan sisäiseen verkkoon sijoitettujen analysointiratkaisujen lisäksi voidaan nykyään hyödyntää myös pilvipalveluja. Tämä on tarpeellista kasvaneen datan määrän takia, ja hajautettujen prosessien analysointia voidaan selkeyttää keskittämällä niitä kaiken kattavaan pilvipalveluun. [8; 21.]

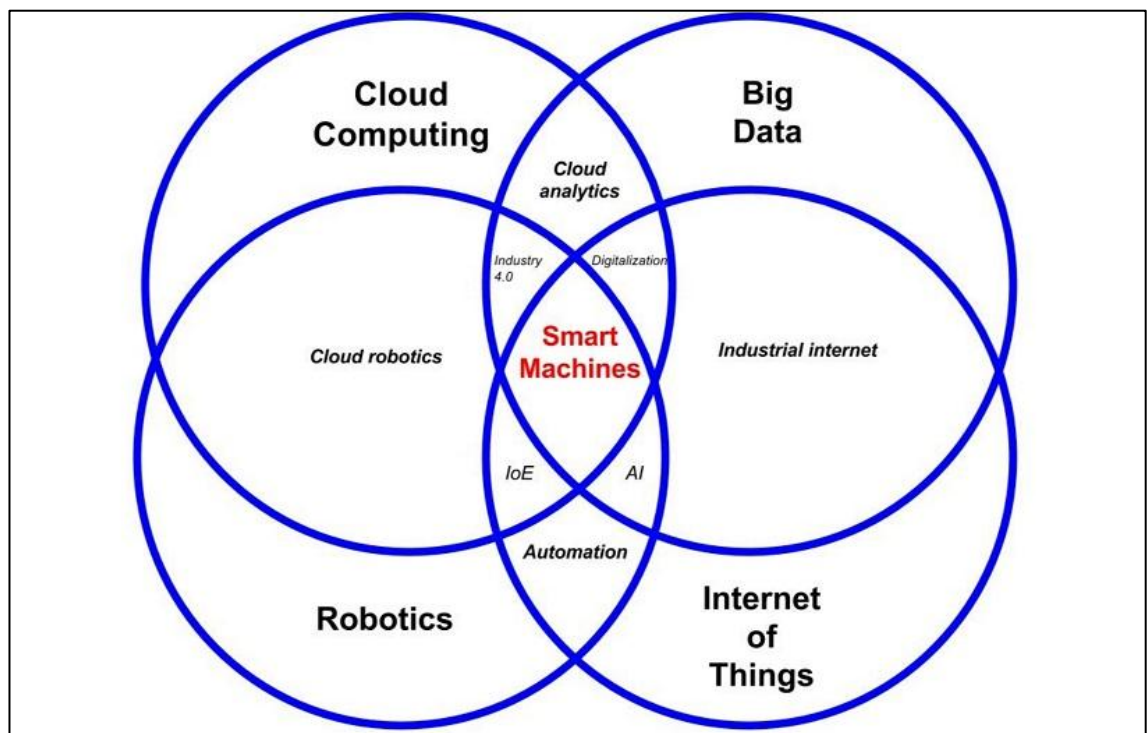


Kuva 7. Analytiikan avulla voidaan havaita poikkeavuudet ennen suurempia ongelmia [21].

Ennakoivan analytiikan lähtökohtana on ennustaa tulevaa toteutuneen pohjalta. Asioita voidaan myös simuloida, kun pystytään paremmin ennalta hahmottamaan, miten prosessi muuttuu muuttamalla tiettyjä yksittäisiä osatekijöitä. Tietokoneet pystyvät soveltamaan itseoppivia algoritmeja, jotka suodattavat kerätystä datasta oleellimmat tiedot ihmisten käyttöön. Kaikki edellä mainitut asiat mahdollistavat prosessin paremman optimoinnin. Myös prosessiin käytetty energian määrä vähenee, kun laitteita pystytään käyttämään optimaalisella tasolla. [8; 21.]

## 2.8 Älykkäät koneet

Älykkäiden koneiden (engl. *Smart Machines*) konsepti liittyy kiinteästi teollisuus 4.0:n kokonaisuuteen. Älykkään koneen määritelmä on riippuvainen siitä, millaisessa yhteydessä konseptia käsitellään. Tämän päivän älykäs kone eroaa tulevaisuuden visiosta. Tulevaisuuden visioon liittyy käsitys pitkälle kehitetystä keinotekoisesta älykkyydestä. Mutta jo nyt älykkäiden koneiden toiminnot alkavat olemaan sellaisella tasolla, että niitä pystytään soveltamaan teollisuudessa niin, että voidaan saada merkittävää hyötyä teollisessa tuotannossa. Älykkäät koneet ja robotiikka tekevät prosessin ja tuotannon tehokkaammaksi, nopeammaksi, turvallisemmaksi, toimintavarmemmaksi, energiatehokkaammaksi ja intuitiivisemmaksi, mahdollistaen samalla joustavamman prosessin kehittämisen. Kuvassa 8 havainnollistetaan älykkään koneen keskeistä roolia uudistuneessa teollisuudessa. [22.]



Kuva 8. Älykäs kone tulevaisuuden teollisuuden sydämessä [22].

Älykkäisiin koneisiin liittyy joukko tavoiteltavia ominaisuuksia, joita ovat

- itsetietoisuus
- datan hallinnointi
- turvallinen toiminta ja tietoturva
- joustavuus
- yhteensopivuus.

Älykkään koneen määritelmässä esiintyy usein käsite itsetietoisuus. Tämä tarkoittaa sitä, että kone pystyy hyödyntämään antureidensa keräämää dataa ja tietoa ominaisuuksistaan monitoroidessaan omaa toimintaansa. Kone pystyy myös tarkkailemaan omia komponentteja ja ympäristön olosuhteita. Koneella on kyky adoptoida uusia algoritmeja ja optimoida omaa toimintaa oppimansa perusteella. Ennakoivan analytiikan avulla voidaan ehkäistä vahinkojen syntymistä. Huomioionottamalla myös muiden koneiden antureiden tarjoaman tiedon, kone pystyy tekemään itsenäisiä päätöksiä prosessin keskellä. [23.]

Toiminnasta kertynyttä dataa kone lähettää operaattoreille, hyödyntäen usein myös pilvipalveluja. Datasta voidaan suodattaa eri toimintoihin liittyviä yksityiskohtia, jotta data on helpommin ymmärrettävissä. [23.]

Älykkäässä koneessa on panostettu turvallisuuteen. Kone on suunniteltu niin, että käyttäjän turvallisuus ei vaarantuisi, eikä koneen toimintaa pystytä tehostamaan turvallisuuden kustannuksella. Esimerkiksi lasereita ja kameroita voidaan käyttää osana turvallisuuden lisäämistä. Myös kokonaisia turvallisuuteen liittyviä automaatiolaitteita ja PLC:tä voidaan hyödyntää. Tietoturva on myös eräs prioriteetti. Koneiden valmistajat pyrkivät panostamaan laitteiden tietoturvaan ja kouluttamaan laitteiden käyttäjiä asian suhteen. [23.]

Toiminnallinen joustavuus on eräs tavoiteltava ominaisuus. Koneen tulisi olla yhteensopiva ja helposti asennettavissa toimivaksi ympäristössä, joka sisältää jo valmiiksi lukuisia muiden valmistajien laitteita. Nopeasti muuttuvat olosuhteet vaativat,

että koneen tulisi olla myös modifioitavissa muihin käyttötarkoituksiin ja sovelluksiin. Älykkään tehtaan konseptiin kuuluu eri moduuleista rakennettu ympäristö. Älykästä konetta voidaan pitää yhtenä tällaisen moduulin rakennuspalikkana. [23.]

Yhteensopivuudella tarkoitetaan koneen ominaisuutta integroitua helposti ethernet-pohjaiseen ympäristöön. Tämä mahdollistaa datan paremman jakamisen ja hyödyntämisen. Älykkään koneen tulisi toimia tietotekniikan ja operatiivisen tekniikan välisenä siltana. Henkilöstön, jonka vastuulla koneen käyttö ja huolto ovat, ei enää tarvitse olla koneen läheisyydessä, vaan monet toimenpiteet ja tarkkailu voidaan suorittaa langattomasti toisesta sijainnista esim. käyttämällä tablettia tai älypuhelinta (kuva 9). [23.]



Kuva 9. Älykästä konetta voidaan hallita esim. tablettitietokoneen avulla [24].

## 2.9 Teollisuus 4.0:n haasteita ja tulevaisuuden näkymiä

Pitkään alalla toimineiden yritysten tietotekniset järjestelmät, tuotantojärjestelmät ja prosessit on yleensä hankittu pitkällä aikavälillä. Tämä aiheuttaa sen, että koneisto koostuu eri valmistajien laitteista ja palveluista, joilla voi olla merkittäviä ikä-eroja keskenään. Tällöin haasteena on sovittaa kaikki koneet ja järjestelmät niin, että yhteensopivuus uuden järjestelmän kanssa mahdollistuisi. Uudelleensovittaminen tulee usein työlääksi ja kalliiksi. Järjestelmän uudelleenrakentaminen niin, että koneista ja



prosesseista saatava data pystytään hyödyntämään modernisti tehokkaalla tavalla on hankalaa. Erityisen hankalaa edellä mainitut haasteet on pienille ja keskisuurille yrityksille, sillä niillä ei ole yleensä omaa IT-osastoa ja vaadittavaa tietotaitoa. Siirtyminen kohti teollisuus 4.0:aa edellyttää yleensä kokonaisvaltaista remonttia yrityksen jokaisella osa-alueella. [19; 23; 25.]

Standardien suhteen on myös haasteita. Vaikka on olemassa joitakin sovittuja standardeja, kaiken kattavaa kansainvälistä yleistä standardia ei vielä ole. Integraatio erilaisten IT-järjestelmien välillä on siksi hankalaa. Yhtenäisten standardien puuttuminen hankaloittaa investointien tekemistä alati muuttuvassa ympäristössä. Pienet yritykset usein pyrkivät ottamaan järjestelmän, joka on yhteensopiva yrityksen kanssa, jonka alihankkijana ne toimivat. Tämä kuitenkin hankaloittaa uusien yhteistyöverkostojen muodostumista sellaisten yritysten kanssa, jotka noudattavat erilaisia standardeja. [19; 23; 25.]

Yksi merkittävä epävarmuustekijä, joka estää siirtymistä kohti teollisuus 4.0:aa, on epävarmuus tietoturvan suhteen. Yritykset ovat erityisesti huolissaan pilvipalveluiden turvallisuudesta. Arkaluontoisen datan mahdollinen päätyminen väärin käsiin on vielä monille este. [19; 26.]

Työnkuvan rakenteen uudistumiseen liittyy uhkakuvia. Joidenkin arvioiden mukaan automaation uudistuminen saattaa tarkoittaa sitä, että lähes puolet työpaikoista tulee katoamaan 10–20 vuoden kuluessa, erityisesti teollistuneissa valtioissa. Toisaalta teollisuuden rakenteellinen muutos saattaa aiheuttaa sen, että markkinoille ilmaantuu uudenlaisia työnkuvia. Työllisyyden kehittymisen tarkka ennustaminen onkin hankalaa. [19.]

Nykyisessä tilanteessa eteneminen uudistunutta teollisuusjärjestelmää kohti vaatii tietotaitoisia työntekijöitä. Sellaisten ammattilaisten löytäminen, joilla on vaadittava pätevyys, voi olla hankala löytää. Uudistuneessa ympäristössä tulisi pystyä hallitsemaan luonnontieteitä, sähkötekniikkaa, automaatiotekniikkaa ja tietotekniikkaa samanaikaisesti. [19.]

Kaiken kaikkiaan teollisuus elää vielä teollisen internetin murrosvaiheen edessä. Teollisuudessa ollaan varauduttu investoimaan suuria summia teollisen internetin luomaan uudistamistarpeeseen. IoT:n tarjoamat mahdollisuudet ja potentiaali ovat



hyvin tunnustettuja tosiasioita. Ongelmana on, ettei vielä ole täysin selvää, kuinka suuri rakenteellinen uudistaminen kannattaa toteuttaa, ja miten potentiaali on parhaiten hyödynnettävissä. Edellä mainitut asiat aiheuttavat sen, että monet teollisuuden yritykset pidättävät vielä henkeään suurempien muutosten edessä. Tämä on ymmärrettävää, sillä kehittyvä teknologia ja erilaiset mahdollisuudet elävät nopeasti, ja ennustuksia eri asioiden kannattavuudesta on hankala tehdä. Halutaan, että uudet ja kalliit järjestelmät ovat relevantteja ja yhteensopivia pidemmälläkin tähtäimellä. [27.]

### 3 IoT ja automaatio

#### 3.1 PLC

PLC eli *Programmable Logic Controller* on erityinen teolliseen ympäristöön tarkoitettu tietokone, jonka pääasiallinen tarkoitus on ohjata automatisoitua prosessia keräämällä tietoa prosessin tilasta. PLC:llä korvattiin monimutkaiset releillä ja ajastimilla toimivat epäluotettavat ohjausjärjestelmät 60-luvun loppupuolella. PLC:n keskusyksikkö sisältää joukon tulo- ja lähtöportteja, joihin voidaan liittää joukko prosessin toimintaan liittyviä antureita ja toimilaitteita. PLC ohjelmoidaan suorittamaan prosessin vaatimia loogisia toimintoja. Ohjelmointi tapahtuu usein käyttämällä graafista tikapuulogiikkaa tai syöttämällä Boolean algebran lausekkeita. Ohjelma syötetään usein paikan päällä käyttämällä operointipaneelia (kuva 10), tai yhdistämällä kannettava tietokone PLC:hen. [28, s. 454–479; 29, s. 287–289.]

Perinteisesti PLC:n toiminta on perustunut digitaalisiin tulo- ja lähtöportteihin, jännitteen toimiessa signaalina. Modernit PLC:t kattavat kuitenkin laajemman valikoiman kommunikointitapoja, kuten sarjaportteja (RS-232, RS-422, RS-485), ja ethernet-portteja (RJ45). Yleisesti käytetty protokolla teollisissa sovelluksissa on ollut Modbus RTU, jota käytetään RS-485-pohaisessa verkossa. Modbusia voidaan käyttää myös ethernetissä. Modbus mahdollistaa älykkäiden antureiden ja toimilaitteiden liittämisen logiikkaan. Yleisesti käytettyjä protokolleja ovat myös Profibus ja sen ethernet-versio Profinet. [30.]



Kuva 10. Siemensin pienikokoinen ohjelmoitava logiikka ja operointipaneeli [31].

### 3.2 Muita kontrollijärjestelmiä

PLC:n lisäksi vastaavia automaatioissa käytettyjä logiikkaratkaisuja ovat nykyään mm. PAC (*Programmable Automation Unit*) ja DCS (*Distributed Control System*). PAC voidaan käsittää olevan kehittyneempi versio PLC:stä, joka sisältää useampia mikroprosessoreja, parempia kommunikointimahdollisuuksia ja älykkäitä ominaisuuksia. Nykyään PAC ja PLC käsitetään usein samaksi asiaksi, kun PLC on kehittynyt toiminnoiltaan samankaltaiseksi PAC:n kanssa. Voidaan ajatella, että PAC on vain uusi nimi kehittyneemmälle versiolle PLC:stä. [32; 33.]

DCS on perinteistä PLC:tä huomattavasti suurempi yksikkö, joka kattaa merkittävästi suuremman määrän I/O-portteja, ja alunperin DCS:llä oli paremmat ominaisuudet analogisten signaalien hyödyntämisessä. DCS:ää käytetään usein suuremassa prosessiteollisuudessa, kun halutaan keskittää laajan alueen lukuisia logiikkatoimintoja ja edistyneempiä tapoja hallita ja monitoroida prosessia. DCS:n tietokonepohjaisella käyttöliittymällä voidaankin valvoa ja hallita koko prosessikokonaisuutta. DCS on myös PLC:tä parempi vaihtoehto muuttuvamassa prosessiteollisuusympäristössä, joissa prosessia joudutaan muuntelemaan useasti. PLC on vastaavasti ollut parempi ratkaisu paikallisemmissa sovelluksissa. PLC:n etuna on ollut myös nopeampi toiminta, joten se on parempi kaikissa nopeaa vaste-aikaa vaativissa sovelluksissa. DCS:n kanssa käytetäänkin usein erillistä PLC-pohjaista logiikka vastaamaan turvallisuustoiminnoista. Nykyisin myös DCS ja PLC alkavat

muistuttamaan toiminnoiltaan toisiaan. Merkittävin asia, joka kuitenkin erottaa DCS:n PLC:stä, on DCS:n suurempi hinta. [34; 35.]

PLC:hen ja DCS:ään perustuvia laajempia järjestelmiä ohjataan usein ylemmältä tasolta, kuten SCADA:lla. SCADA (*Supervisory Control And Data Acquisition*) on tietokoneella toteutettu graafinen käyttöliittymä, jolla voidaan valvoa ja ohjata prosessia. IoT ja pilvipalvelut tulevat luultavasti vähentämään SCADA:n tarvetta joissain paikoissa monien merkittävien etujen vuoksi, joita ovat mm. protokollien standardointi, skaalattavuus, edullisuus ja parempi yhdistettävyyys muihin laajempiin järjestelmiin. SCADA tulee luultavasti kuitenkin säilyttämään asemansa kriittisimmissä sovelluksissa, jotka vaativat ehdottomampaa toimintavarmuutta valvonnan suhteen. [36.]

### 3.3 Älykkäät anturit ja RTU

Älykkäällä anturilla (engl. *Smart Sensor*) tarkoitetaan sellaista anturia, joka sisältää anturin lisäksi pienikokoisen mikroprosessorin (esim. ASIC-piiri) ja jonkinlaisen kommunikaatiotekniikan. Älykäs anturi mahdollistaa täsmällisemmän datan keräämisen ja vähentää häiriöiden vaikutusta. Monimutkaisemman datan käsittely onnistuu sisäänrakennetun prosessorin ansiosta. Älykkään anturin määritelmään kuuluu, että se pystyy suorittamaan prosessiin liittyviä loogisia toimintoja itsenäisesti, eikä anturin tarvitse tällöin olla niin kiinteässä sidoksessa PLC:n kanssa. Tämä mahdollistaa nopeamman toiminnan. Älykkääseen anturiin liittyy myös ominaisuus siirtää dataa langattomasti ja olla yhteydessä pilvipalveluun internetin välityksellä. [37; 38.]

RTU (*Remote Terminal Unit*) on termi, jolla tarkoitetaan elektronista laitetta, jonka avulla voidaan kerätä dataa yksittäisestä prosessista tai jostain tietystä toiminnosta. RTU voi myös suorittaa yksinkertaisia loogisia toimintoja PLC:n tapaan. RTU:ta käytetään usein etäisimmissä käyttökohteissa, ja se kattaakin usein langattomia tiedonsiirto-ominaisuuksia, kuten esim. GSM-verkon käytön. RTU:ta käytetään myös kentällä olevien antureiden ja valvontajärjestelmän välisenä linkkinä. [33; 39.]

Älykkäiden antureiden odotetaan parantavan turvallisuutta ja tehokkuutta. Esimerkiksi ABB mainostaa induktiomootoreihin asennettavaa älykästä anturia, jonka väitetään

vähentävän moottorin alhaallaoloaikaa 70 %, pidentävän käyttöikää 30 % ja vähentävän energiankulutusta 10 %. [40.]

Älykkäät ja langattomasti toimivat anturit ovat erityisesti käyttökelpoisia tilanteissa, joissa laitteiden johdottaminen on hankalaa [41].

### 3.4 IoT:n vaikutus automaatioon

PLC ja DCS ovat keskeisimpiä yksiköitä prosessiteollisuudessa ja automaatioon perustuvissa järjestelmissä. Kiinnostavaa onkin, kuinka IoT tulee vaikuttamaan perinteiseen tapaan ohjata laitteita ja prosesseja.

PLC:n kiistaton etu on varmatoimisuus ja reaaliaikaiset toiminnot. PLC toimii yleensä paikallisella tasolla, eli se ei ole välttämättä sidoksissa ulkopuolisiin verkkoihin. Nämä ominaisuudet tekevät PLC:stä varmatoimisen, koska se ei ole altis ulkopuolisille häiriötekijöille. [42.]

Kaikesta IoT:hen liittyvästä tiedosta ja uudesta teknologiasta voisi helposti tehdä johtopäätöksen, että tulevaisuuden teollisuutta ohjattaisiin (tai oikeastaan vain monitoroitaisiin) pelkästään internetin välityksellä. Voisi hyvinkin visioda, että koko älykkään tehdasympäristön voisi rakentaa kuin palapelin, jossa äly-toiminnoilla varustetut palaset konfiguroisivat itse itsensä, kommunikoisivat keskenään, kytkeytyisivät automaattisesti internetiin ja tehdas alkaisi pyörimään itsenäisesti täydellä teholla. Edellä mainittu skenaario voi olla mahdollista joskus etäämpänä tulevaisuudessa, mutta tällä hetkellä vielä pohditaan keinoja, miten nykyistä teknologiaa voitaisiin parhaiten hyödyntää. Älykkäät ja langattomasti toimivat koneet, anturit ja toimilaitteet voisivat jo nyt teoriassa mahdollistaa ainakin osan edellä mainitusta visiosta. Vastassa on kuitenkin haasteita, jotka liittyvät turvallisuuteen, varmatoimisuuteen ja siirtymävaiheen aiheuttamiin kustannuksiin. Todellisuudessa IoT:n merkittävin hyöty tällä hetkellä liittyy älykkäiden laitteiden kykyyn kerätä ja lähettää dataa valvontajärjestelmiin ja pilvipalveluihin jaettavaksi sekä analysoitavaksi. On totta, että joitakin vähemmän kriittisiä ja paikallisempia toimintoja ja prosessien loogisia toimintoja voidaan ohjata suoraan internetistä käsin, mutta monet toiminnot vaativat sellaista ohjaavien toimintojen vaste-aikaa, tarkkuutta ja luotettavuutta, ettei

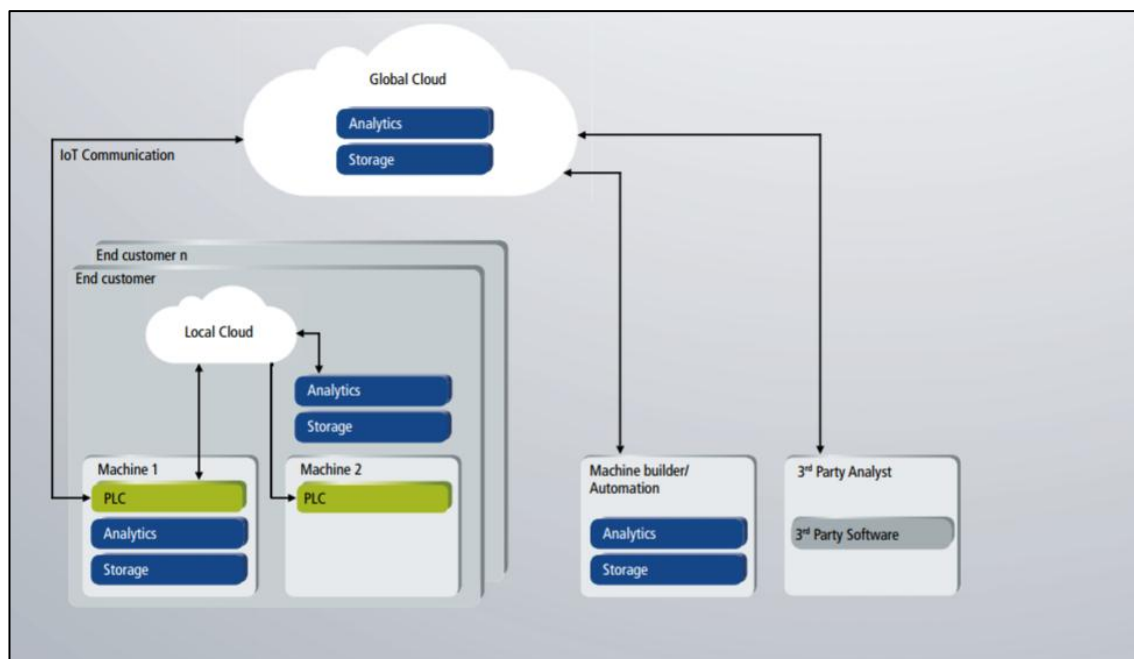
prosessin reaaliaikainen etäohjaus internetin välityksellä useinkaan ole suotavaa. [42; 43; 44.]

Reaaliaikaiseen automaatioon IoT vaikuttaa tällä hetkellä merkittävimmin siten, että PLC:tä ja DCS:ää voidaan käyttää ja ohjata etänä, ohjelmoida internetin välityksellä, ja ne ovat myös paremmin yhdistettävissä muihin järjestelmiin. Perinteiset kontrollijärjestelmät tulevat siis säilymään tärkeässä asemassa toistaiseksi. [42; 43; 44.]

IoT:ta voidaan myös hyödyntää jo olemassa olevien järjestelmien, kuten SCADA:n ja DCS:n lisäksi täydentävänä teknologiana. SCADA:lla voidaan valvoa tehtaan toimintoja, mutta IoT:ta hyödyntämällä voidaan perinteisiä tapoja tehokkaammin syventyä yksittäisiin eri toimintoihin ja niiden välisiin vuorovaikutuksiin. Lisäksi IoT mahdollistaa tehtaan toimintoihin ja koneisiin yhdistettävän palveluarkkitehtuurin, jossa esimerkiksi koneiden valmistajat saavat suoraan tietoa koneisiin liittyvistä ongelmista. Tällöin tehtaan toimintojen suunnittelu ja koneissa ilmenevät viat ovat helpommin ja nopeammin ratkaistavissa. [46; 47.]

Sellaisessa teollisessa ympäristössä, jossa lukuisat koneet, järjestelmät ja valvontaratkaisut käyttävät keskenään yhteensopimatonta tekniikkaa ja kommunikointiprotokolleja, voivat IoT-ratkaisut helpottaa palasien yhdistämisessä. Monesti tehtaissa on vanhoja koneita ja muita järjestelmiä, jotka eivät ole lainkaan yhdistettyinä valvontajärjestelmään kalliiden lisäkustannusten vuoksi. IoT tarjoaa mahdollisuuden saada myös kytkemättömät laitteet osaksi kyberfyysistä järjestelmää. Myös joissain laajemissa teollisuuskokonaisuuksissa, jotka käsittävät eri SCADA-järjestelmiä, voidaan IoT:n tuomilla mahdollisuuksilla yhdistää eri valvontajärjestelmät. [46.]

Myös eri tason pilvipalveluita voidaan nitoa yhteen. Kuvassa 11 esitellään erästä Beckhoffin ehdottamaa IoT-arkkitehtuuria, jossa paikallisesti toteutetut pilviratkaisut yhdistyvät globaaliin pilvipalveluun. Pilvipalveluiden hierarkkinen jäsentely voi olla hyödyksi erityyppisten toimintojen hallinnassa, datan suodattamisessa ja sisäisen tietoturvan parantamisessa. [48.]



Kuva 11. Beckhoffin näkemys mahdollisesta pilvipalveluita hyödyntävästä arkkitehtuurista [48].

## 4 Taajuusmuuttaja

Taajuusmuuttaja (engl. *Variable Frequency Drive*, lyh. *VFD*) on tehoelektroniikkalaitte, jonka avulla on mahdollista säätää portaattomasti oikosulkumoottorin pyörimisnopeutta ja vääntömomenttia syöttöjännitteen suuruutta ja taajuutta muuttamalla. [28, s. 366–375.]

Yleisimpiä taajuusmuuttajan käyttökohteita ovat kohteet, joissa portaattomasta nopeuden säädöstä on hyötyä. Tällaisia käyttökohteita ovat mm. pumput, puhaltimet, hissit, paperikoneet, vinssit, kompressorit, ilmastointilaitteet, kuljettimet, kelaimeet ja nosturit. [49.]

### 4.1 Etuja ja haittoja

Taajuusmuuttaja on hienostuneempi tapa vaikuttaa moottorin pyörimisnopeuden säätöön. Perinteisempi tapa on ollut muuttaa moottorin napaparilukua, mutta se ei mahdollista nopeuden portaattonta säätöä, ja mahdollisia nopeuksia on hyvin rajallinen määrä. Moottorin jättämän säätäminen on mahdollinen tapa vaikuttaa

liukurengasmoottorin pyörimisnopeuteen. Myös mekaanisilla vaihteistoilla ja jarruja käyttämällä voidaan vaikuttaa pyörimisnopeuteen, mutta se ei ole kovin energiatehokasta. Taajuusmuuttaja lienee paras ratkaisu hallita moottorin pyörimisnopeutta, kun vaaditaan tarkempaa ja kustannustehokkaampaa tapaa sovittaa moottorilta edellytettävä nopeus ja momentti muuttuvan kuorman suhteen. Energian kulutusta ajatellen taajuusmuuttajan rooli on merkittävä, sillä sähkömoottorit kuluttavat valtaosan teollisuuden vaatimasta sähköenergiasta. Esimerkiksi pumppukäytöissä tehontarve kasvaa suhteessa pyörimisnopeuden kuutioon, joten jo pienikin muutos moottorin pyörimisnopeudessa vaikuttaa kulutettuun energian määrään dramaattisesti. Muita nykyaikaisiin taajuusmuuttajiin liittyviä etuja ovat mm.:

- moottorin käynnistysvirran parempi hallinta
- vähäisemmät häiriöt sähköverkossa
- vähäisempi tehontarve moottorin käynnistymisen yhteydessä
- kontrolloitu moottorin kiihdytys ja pysäytys
- erilaisia moottoria suojaavia toimintoja
- moottorin pyörimissuunnan kääntäminen.

Taajuusmuuttajalla voidaan vaikuttaa moottorin käynnistysvirran suuruuteen, riippuen halutusta kiihdytyksestä, ja millainen kuorma moottoriin on kytketty. Huomattavasti pienempi virta ja hallitu kiihdyttäminen käynnistymisen yhteydessä säästävät moottorin käämityksiä ja muita rakenteita, jolloin moottorin käyttöikä pitenee. Hallittu käynnistys myös suojaa sähköverkkoa jännitteenalenemalta, joka voisi pahimmassa tapauksessa haitata tai jopa tuhota muita samaan verkkoon kytkettyjä laitteita. Muita suojaavia toimintoja on esimerkiksi vääntömomentin rajoittaminen, joka on tarpeen vaikka tilanteessa, jossa moottori sattuu jumittumaan. Tällöin virta ei pääse kasvamaan liian suureksi, ja mekaanisiltakin vaurioilta säästytään. [49; 50.]

Taajuusmuuttajiin liittyviä merkittäviä haittoja on kohtalaisen niukasti sellaisissa tapauksissa, joissa taajuusmuuttaja on oikein mitoitettu, ja valittu malli on ominaisuuksiltaan sopiva tarkoitettuun käyttökohteeseen. Ehkä merkittävimäksi

haitaksi voidaan katsoa hinta sellaisessa tapauksessa, jossa taajuusmuuttajan investointikustannukset eivät maksa itseään takaisin. Yleisesti haittana kuulee mainittavan pulssinleveysmodulaatiotekniikkaa sovellettaessa aiheutuvat harmoniset yliaallot. Nykyaikaisissa taajuusmuuttajissa tosin on harmonisia yliaaltoja suodattavaa ja vähentävää tekniikkaa. Harmonisia yliaaltoja voidaan myös suodattaa muilla ratkaisuilla. Joissain suuremmissa kokonaisuuksissa käytetään useita eri taajuusmuuttajia, ja ne täytyy saada verkostoitua ja ohjelmoitua oikealla tavalla. Edellä mainitussa tilanteessa tehtävä voi olla haastava, ja vaatii asiaan erikoistunutta henkilöä. Myös taajuusmuuttajien vaihdon yhteydessä uuden laitteen konfigurointi voi olla työläs prosessi, sillä konfigurointiin liittyviä parametreja voi olla satoja. Taajuusmuuttajat edellyttävät myös usein niitä ohjaavia järjestelmiä, vaikka nykyisissä taajuusmuuttajissa on jo usein sisäänrakennettu logiikka. Taajuusmuuttajat tuottavat myös paljon lämpöä, joten niiden jäähdytyksestä on huolehdittava. Tuotettu lämpö voi olla erityisesti ongelma sellaisessa tilanteessa, jossa moottoria käytetään matalalla nopeudella, sillä tuuletin pyörii usein samalla nopeudella moottorin kanssa. Taajuusmuuttajien syöttämät nopeat jännitepulssit ja korkeat kytkentätaajuuudet voivat aiheuttaa moottorin laakereiden kautta purkautuvia virtapulsseja. Tämä aiheuttaa moottorin laakereiden vaurioitumista, ja lisää moottorin huoltotarvetta. Taajuusmuuttajien toimintaa voivat haitata myös erilaiset sähkömagneettisia häiriöitä aiheuttavat laitteet. [45; 51; 52.]

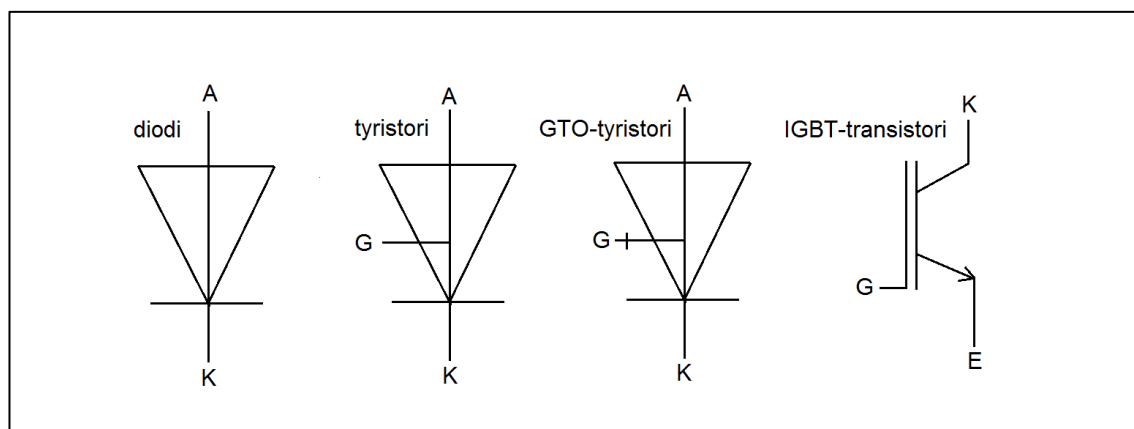
#### 4.2 Rakenne ja toiminta

Taajuusmuuttajien toiminta perustuu puolijohdekytkimien hyödyntämiseen. Puolijohdekytkimillä kytketään kuorma toistuvassa sekvenssissä haluttuun jännitetasoon tai vaihejännitteeseen. Nykyiset puolijohdekytkimet ovat huomattavasti nopeampia mekaanisiin kytkimiin verrattuna. Puolijohdekytkimillä voidaan yltää jopa kymmeniin tuhansiin kytkentöihin sekunnissa. [49.]

Taajuusmuuttajissa käytettyjä puolijohdekytkimiä ovat mm. diodi, tyristori, IGBT-transistori (engl. *Insulated Bipolar Transistor*) ja GTO-tyristori (engl. *Gate Turn-Off*). Diodi on puolijohdekomponentti, joka mahdollistaa sähkövirran pääsyn ainoastaan toiseen suuntaan, anodilta (A) katodille (K). Diodia käytetään taajuusmuuttajissa tasasuuntauskytkennöissä. Tyristori muistuttaa toiminnaltaan diodia, mutta sitä voidaan myös ohjata. Jos virta pyrkii anodilta katodille, voidaan tyristorissa mahdollistaa virran



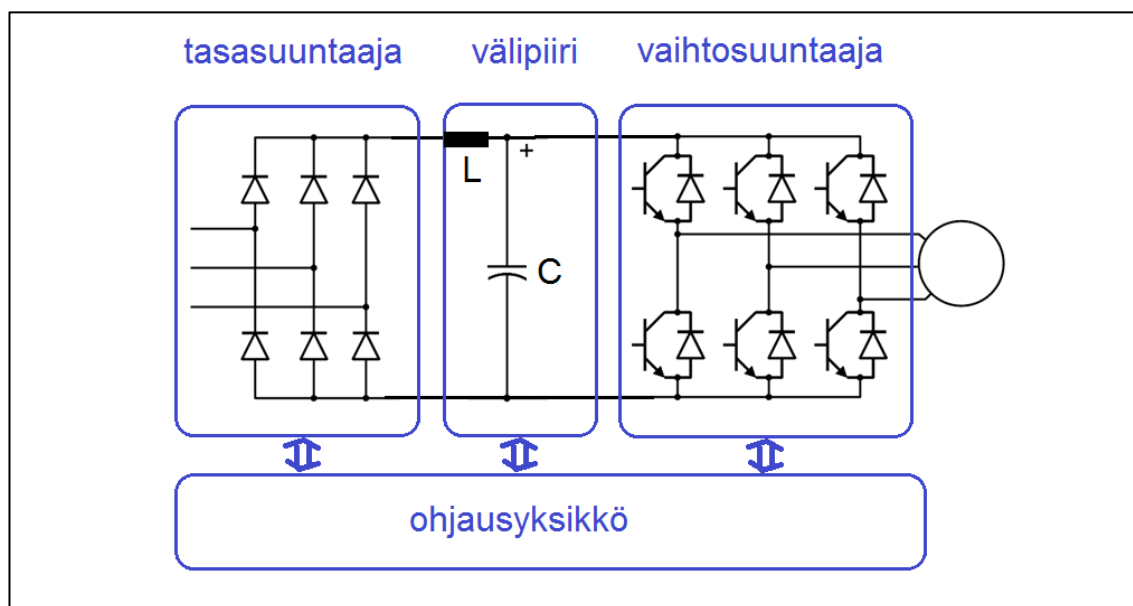
kulku antamalla positiivinen ohjausvirtapulssi tyristorin hilalle (G). IGBT-transistorin voidaan ajatella edustavan transistorien evolutionääristä huippua, jossa yhdistyvät MOSFETin (*Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor*) ja bipolaaritransistorin parhaat ominaisuudet. Tuloksena on transistori, joka on nopeasti ohjattavissa, ja vaadittu ohjausteho on pieni. IGBT-transistorin tehonkesto on myös suuri, ja sitä voidaan käyttää satojen kilowattien tehoisissa sovelluksissa. IGBT-transistori on nykyään suosittu puolijohdekomponentti taajuusmuuttajissa. GTO-tyristori on myös täysin ohjattavissa oleva komponentti, mutta sen vaatima ohjausteho on suurempi ja kytkentätaajuus paljon pienempi verrattuna IGBT:hen. GTO:n merkittävin etu on sen huomattavasti suurempi tehonkesto, joka voi olla useita megawatteja. Puolijohdekomponenttien nopea toiminta mahdollistaa sen, että jännitteen muotoa voidaan muokata tarkasti. Kuvassa 12 on esitelty edellä mainittujen puolijohdekytkimien piirrosmerkit. [49.]



Kuva 12. Puolijohdekomponenttien piirrosmerkit.

Pienitehoisia oikosulkumoottoreita ohjataan yleensä ns. jännitevälipiirillisellä taajuusmuuttajalla (engl. *Voltage Source Inverter*, lyh. *VSI*), joka on yleisin teollisuudessa käytetty taajuusmuuttajatyyppejä. Taajuusmuuttajien muita tyyppejä ovat mm. virtavälipiirilliset taajuusmuuttajat (engl. *Current Source Inverter*, lyh. *CSI*) ja syklokonvertterit. Virtavälipiirillinen taajuusmuuttaja toimii virtalähteenä, joka syöttää moottoriin sellaisen virran, että moottorin navoissa on haluttu jännite. Virtavälipiirillinen taajuusmuuttaja ja jännitevälipiirillinen taajuusmuuttaja eroavat rakenteellisesti toisistaan niiden välipiirien eroavaisuuksien vuoksi. Virtavälipiirillisen taajuusmuuttajan välipiiri koostuu pelkästä tasoituskuristimesta, kun taas jännitevälipiirillisessä taajuusmuuttajassa välipiiri muodostuu kondensaattorista ja kuristimesta (LC-alipäästösuodatin). Välipiirin tarkoitus on varastoida energiaa ja tasoittaa jännitettä.

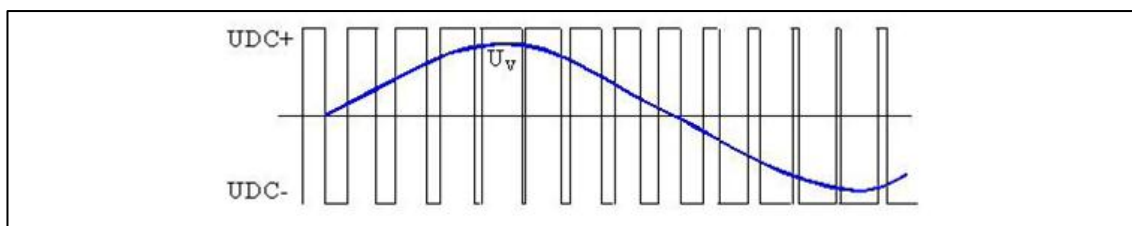
Tyypillisen jännitevälipiirillisen taajuusmuuttajan toiminnallinen tehoelektroniikkapiiri siis koostuu kolmivaiheisesta tyristori- tai dioditasasuuntaussillasta, välipiirin LC-alipäästäsuodattimesta ja tyypillisesti IGBT-transistoreilla toteutetusta vaihtosuuntaussillasta. Vaihtosuuntaussillassa transistorien kanssa rinnankytketyt diodit mahdollistavat virran kulkemisen eri kuormitustilanteissa. Lisäksi välipiiriin on usein sijoitettu ylimääräinen jarruvastus, jossa kulutetaan jarrutuksen yhteydessä takaisin kulkeutuva energia. On myös sovelluksia, joissa jarrutusenergia syötetään takaisin verkkoon. Jännitevälipiirisen taajuusmuuttajan toiminnallista rakennetta havainnollistaa kuva 13. [49; 53; 54: 55]



Kuva 13. Jännitevälipiirillisen taajuusmuuttajan toiminnallinen lohkokaavio.

Tasasuuntaajassa kolmivaiheinen vaihtojännite muunnetaan tasajännitteeksi. Välipiirissä suodatetaan tasajännitteestä pois mahdolliset epäpuhtaudet. Välipiiri toimii myös energiavarastona. Ohjauselektroniikan tarvitsema käyttöjännite voidaan myös ottaa välipiiristä. Vaihtosuuntaussillassa muodostetaan toivottu vaihtojännitteen taajuus ja suuruus. Tuotetun vaihtojännitteen muodostamiseen käytetään yleisimmin ns. pulssinleveysmodulointitekniikkaa (engl. *Pulse Width Modulation*, lyh. *PWM*). PWM-tekniikalla toteutettu vaihtojännite saadaan aikaan siten, että vaihtosuuntaajassa kunkin vaiheen tasajännite pilkotaan eri mittaisiksi jännitepulsseiksi. Toiminnaltaan nopeat IGBT-transistorit kytkevät tasajännitepiiriin vaihejännitteet vuorotellen positiiviseen ja negatiiviseen kiskoon. Transistorit avautuvat ja sulkeutuvat sellaisissa sekvensseissä, että jännite jakaantuu erimittaisiksi jännitepulsseiksi, joiden integraali

muodostaa lähes siniaaltoisen vaihtojännitteen. Kuvassa 14 havainnollistetaan PWM-tekniikalla toteutettua jännitteen vaihtosuuntausta. [49.]



Kuva 14. PWM-tekniikalla toteutettu vaihtojännite [49].

Taajuusmuuttajan tarkoituksena on tarjota moottorille tehoa sellaisessa muodossa, että moottorilla saavutetaan toivottu pyörimisnopeus tai vääntömomentti. Jännitevälipiirillisessä taajuusmuuttajissa on sisäänrakennettuna erilaisia säätömetodeita, joilla päästään toivottuun lopputulokseen. Erilaisia ohjaustapoja ovat mm. skalaariohjaus, skalaarisäätö, vektorisäätö ja suora vääntömomentin säätö (engl. *Direct Torque Control*, lyh. *DTC*). [54.]

Moottorikäytön säätöjen lisäksi ohjausjärjestelmän on huolehdittava myös muista säätöä vaativista asioista, kuten mahdollisesta verkkosillan tarvitsemasta säädöstä ja ohjattavaan prosessiin liittyvistä säädöistä. Säätöjen ja erilaisten suojausjärjestelmien toteutus vaatii joukon erilaisia reaaliaikaisesti toimivia mittauksia, jotka monitoroivat prosessia, moottoria, suuntaajaa ja syöttävää verkkoa. Nykyaikaisissa moottorikäytöissä taajuusmuuttajiin voidaan asettaa moottorikäyttöön liittyvät parametrit ohjauspaneelin tai tietokoneen avulla. Taajuusmuuttajan säätöjärjestelmään on usein myös konfiguroitavissa moottorin dynaaminen malli, jonka perusteella taajuusmuuttaja osaa laskea prosessiin liittyviä suureita. Tällöin ulkoisten takaisinkytkentöjen määrää voidaan vähentää. [49.]

Taajuusmuuttajaa voidaan ohjata seuraavilla tavoilla:

- taajuusmuuttajan käyttöpaneelin kautta
- digitaalisella jännitesignaalilla
- analogisella jännite- tai virtaviestillä
- kenttäväylän kautta (Modbus, Profibus, Profinet jne.).

Taajuusmuuttajaa ohjataan nykyään yleisimmin kenttäväylän kautta. Kenttäväylä mahdollistaa samanaikaisesti erilaisten tietojen ja ohjeiden kulkemisen molempiin suuntiin. Kenttäväylää pitkin kulkevat ohjauskäskyt, erilaiset hälytykset sekä informaatio mahdolliseen valvontajärjestelmään. Nykyaikaiset taajuusmuuttajat sisältävät usein myös sisäänrakennetun automaatiologiikan (erityisesti pumppu- ja puhallinkäytöissä), joten erillistä kontrollijärjestelmää ei välttämättä tarvita. [47; 49.]

## **5 Schneider Electric ATV600 -taajuusmuuttaja**

### **5.1 Schneider Electric**

Schneider Electric on ranskalainen monikansallinen yritys, joka on erikoistunut energianhallintaan, automaatioon, ohjelmistoihin ja palveluihin. Yrityksellä on palveluksessaan yli 160 000 työntekijää noin sadassa eri valtiossa. Liikevaihto vuonna 2016 oli n. 25 miljardia euroa. Yrityksen pääkonttori sijaitsee Ranskassa. [56.]

### **5.2 ATV600-taajuusmuuttaja**

Tutkittavana oli Schneider Electricin valmistama Altivar Process 630 -taajuusmuuttaja (kuva 15), tarkemmalta malliltaan ATV630U75N4.

Altivar Process on Schneider Electricin valmistama tuoteryhmä, johon kuuluu kaksi eri sarjaa: ATV900 ja ATV600. Molempien sarjojen taajuusmuuttajia on tällä hetkellä saatavilla tehoalueella 0,75 kW – 800 kW. Tutkitun taajuusmuuttajan teho oli 7,5 kW. ATV600-sarja on tarkoitettu erityisesti teollisiin pumppu- ja puhallinkäyttöihin. Kuvassa 15 nähdään tutkittu taajuusmuuttaja kilpiarvoineen. [57.]



Kuva 15. Schneider Electric ATV630U75N4 ja kilpiarvot.

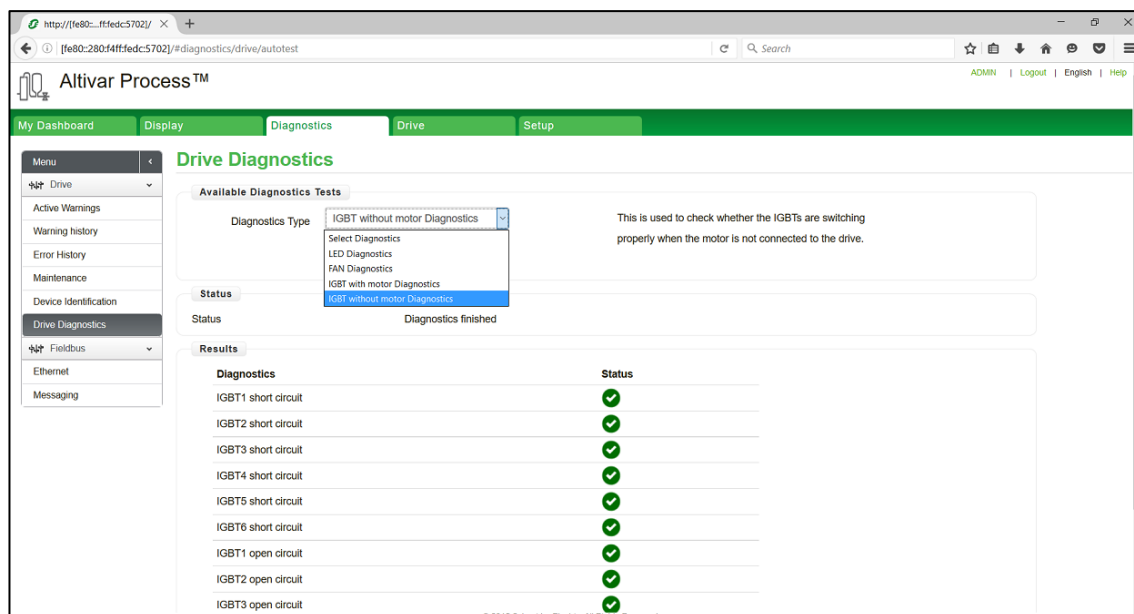
ATV600-sarjan taajuusmuuttajan oleellisimpina ominaisuuksina, verrattuna perinteisempiin taajuusmuuttajiin, voidaan pitää sen sisältämiä älykkäitä ominaisuuksia. Taajuusmuuttajaan on sisäänrakennettuna perinteisen ohjauspaneelin lisäksi web-selaimella käytettävissä oleva graafinen käyttöliittymä. Graafisella käyttöliittymällä on helppo suorittaa parametrien asettelua ja hienosäätää toimintoja. Energiankulutusta, tehoa, vääntömomenttia, jännitettä, virtaa sekä muita suureita ja toimintoja voidaan monitoroida graafisesti tietokoneella tai erillisillä valvontajärjestelmillä, jotka ovat liitettynä samaan verkkoon taajuusmuuttajan kanssa. Taajuusmuuttajan keräämää tietoa voidaan myös tallentaa ja lähettää pilvipalveluihin. Taajuusmuuttajassa on myös automaattista diagnostiikkaa ja ongelmatilanteiden diagnosointia helpottavia toimintoja. Älykkäiden ominaisuuksien avulla voidaan optimoida pumppukäytön tehokkuutta. Taajuusmuuttajassa on myös sisäänrakennettua PLC:n kaltaista logiikkaa PID-säätöä varten. Pumppukäyttöön voidaan myös soveltaa ns. dynaamista mallia, jolloin erillisiä antureita ei tarvita, vaan taajuusmuuttaja pystyy arvioimaan säätöön tarvittavia suureita laskennallisesti. [57.]

### 5.3 Palvelukeskeinen arkkitehtuuri

Taajuusmuuttajat ovat usein sijoitettu osaksi muiden elektromekaanisten laitteiden muodostamaa voimansiirtojärjestelmää, johon kuuluu moottoreita, vaihteistoja ja mekaanisia voimansiirtoratkaisuja. Taajuusmuuttajat poikkeavat kuitenkin toiminnoiltaan muista voimansiirtojärjestelmässä olevista laitteista siinä, että niihin on sisäänrakennettuna ns. älykkäitä ominaisuuksia, joiden avulla ne toimivat usein koko voimansiirtojärjestelmää ohjaavana laitteena. [58.]

Schneider Electric kutsuu Altivar Process –taajuusmuuttajia ns. palvelukeskeisiksi taajuusmuuttajiksi (engl. *Service Oriented Drive*, lyh. *SOD*), jotka pyrkivät hyödyntämään älykkäitä ominaisuuksia. Tavoitteena on vähentää merkittävästi taajuusmuuttajan alhaallaoloaikoja ja käyttää hyväksi taajuusmuuttajan älykkäitä ominaisuuksia koko voimansiirtoketjun monitorointiin sekä suojaamiseen. Taajuusmuuttajan avulla voidaan tarkkailla esim. moottorin momenttia, lämpötilaa, jännitettä ja energiankulutusta. [58.]

Alhaallaoloaikojen vähentämiseksi SOD-taajuusmuuttajissa sovelletaan ns. ennaltaehkäisevää huoltoa (engl. *Preventive Maintenance*), jossa laitteen potentiaalisia vikoja pyritään tutkimaan ja havaitsemaan jo ennen varsinaista vikaantumista. Taajuusmuuttajassa on erilaisia suojaavia toimintoja, kuten vaihevahti, oikosulkusuojaus, ylikuumenemisen valvonta jne. Riskirajoja lähestyttäessä taajuusmuuttaja pysäyttää toiminnan ennen taajuusmuuttajan tai moottorin mahdollista vahingoittumista. Taajuusmuuttaja kykenee myös tarkkailemaan sisältämiensä komponenttien kuntoa, ja tarvittaessa ilmoittamaan lähestyvistä ongelmatilanteista. Kuvassa 16 nähdään web-selainpohjaisen käyttöliittymän ikkuna, jossa voidaan myös manuaalisesti testata ja tarkkailla komponenttien kuntoa. [58; 59.]



Kuva 16. Esimerkiksi IGBT-transistorien kuntoa voidaan kartoittaa web-selaimen kautta.

Laitteeseen sisäänrakennettu älykyys suorittaa myös tarkkailua, jonka tehtävänä on varmistaa, että laite toimii halutulla tavalla. Erilaisia ilmoituksia ja varoituksia voidaan parametroida hälyttämään toimintoihin liittyvistä ei-toivotuista tilanteista. Toinen konsepti, jonka avulla alhaallaoloaika pyritään vähentämään, on ennakoiva huolto (engl. *Predictive Maintenance*). Ennakoiva huolto tarkoittaa tässä tapauksessa sitä, että laitteen kuntoa arvioidaan erilaisten todennäköisyyslaskentaan perustuvien algoritmien avulla. Tämä tapahtuu analysoimalla väylää pitkin luettavissa olevan datan sisältämää informaatiota. Tällä tavoin voidaan vähentää laitteen toimintaan liittyviä riskitekijöitä. [58; 59.]

Tajuusmuuttaja on mahdollista kytkeä osaksi paikallista protokollapohjaista verkkoa, ja sillä on mahdollisuus olla yhteydessä myös web-pohjaisiin palveluihin. Taajuusmuuttaja voidaan asetella toimimaan paikallisesti tai etäkäytettäväksi, riippuen käytössä olevasta IT-infrastruktuurista. Automatisoiduilla ja reaaliaikaisilla toiminnoilla taajuusmuuttaja pystyy ilmoittamaan itsenäisesti vikaantumista ja huoltotarpeista kunnossapidosta vastaaville tahoille. Käyttämällä erillistä logiikkaa tai päätelaitetta on myös mahdollista konfiguroida järjestelmä, joka lähettää automaattisesti tekstiviestejä ja sähköposteja toimintaan liittyvistä varoituksista, sisäisistä ongelmista ja koko voimansiirtojärjestelmän tilasta. [58; 59].

Huoltoon ja tekniseen tukeen liittyviä asioita on pyritty helpottamaan internetin mahdollisuuksia hyödyntäen. Taajuusmuuttajassa, joka ei ole kytkettynä verkkoon, voidaan hyödyntää *QR-koodeja*. Mahdollisissa ongelmatilanteissa taajuusmuuttajan käyttöpaneeliin ilmestyy QR-koodi, joka voidaan skannata esim. käyttäen älypuhelin. QR-koodit pyrkivät ohjaamaan käyttäjän nettisivulle, josta kyseisen ongelman ratkaisemiseksi tarvittava informaatio on saatavilla. QR-koodeja on kahdenlaisia: dynaamisia ja staattisia. Dynaaminen koodi vaihtelee tilanteen mukaan ja ohjaa käyttäjän kyseiseen vikaan liittyvän informaation lähteelle. Staattinen koodi taas liittyy laitteen yleiseen käyttöön ja käyttäjän käyttöoppaan kohtaan, josta tarvittava tieto löytyy. QR-koodia voidaan myös hyödyntää asiakaspalvelussa siten, että laitteen valmistajan asiaan erikoistunut henkilökunta pystyy helpommin ja nopeammin auttamaan ongelman ratkaisussa. Mikäli taajuusmuuttaja on kytkettynä verkkoon, voi valmistajan henkilökunta perehtyä laitteen pilvipalveluun tallentamaan dataa. Myös sellaiset erikoisjärjestelyt ovat mahdollisia, jossa valmistajalla on suora yhteys taajuusmuuttajaan. Tällöin teknisen tuen on mahdollista puuttua ongelmatilanteisiin erittäin nopeasti. Kuva 17 havainnollistaa QR-koodien käyttöä. [58; 59; 60.]

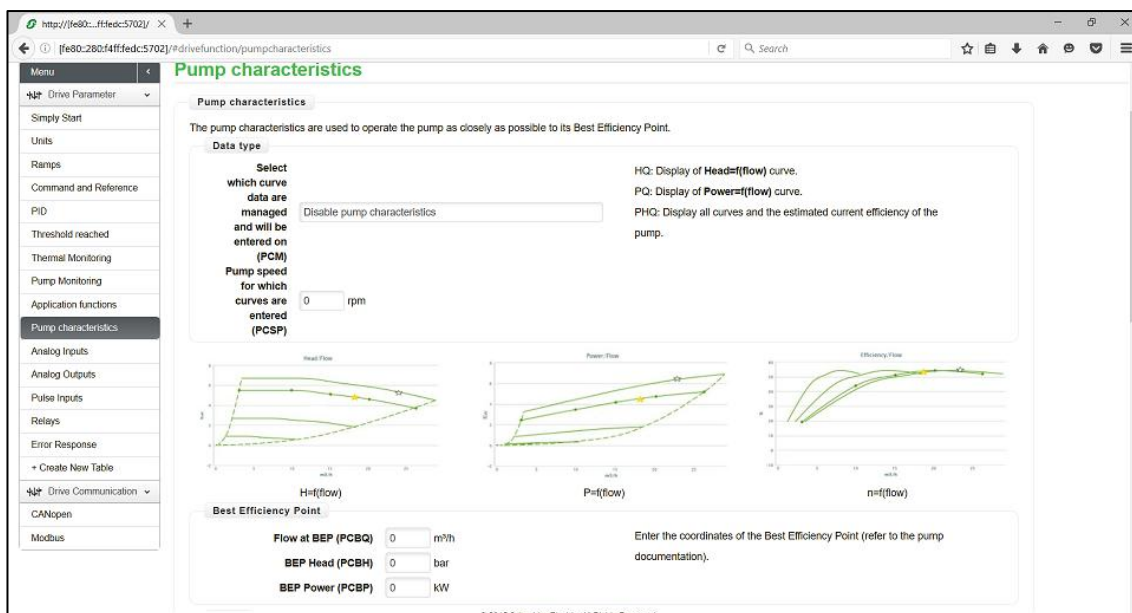


Kuva 17. Ongelmatilanteita voidaan ratkaista helposti dynaamisten QR-koodien avulla [61].

Altivar Process -taajuusmuuttajan oleellisena tavoitteena on energiankulutuksen vähentäminen. Taajuusmuuttaja tunnistaa hyötysuhteen poikkeamat optimitasosta ja valvoo moottorin tehoa tarkasti. Valvontatietojen perusteella automaatiojärjestelmä pystyy optimoimaan sovellusten toimintaa ja parantamaan kustannustehokkuutta. Taajuusmuuttajaan voidaan ohjelmoida pumppusovelluksien tehokkuutta parantava pumppukäyrä, johon voidaan asettaa tehokkuudeltaan paras toiminta-alue. Pumppukäyrä auttaa myös arvioimaan erilaisia riskitilanteita, kuten kavitaatiota tai



ylipainetta. Kuvassa 18 nähdään web-selainpohjaisen käyttöliittymän ikkuna, jossa pumppukäyrän asettelu tapahtuu. [58; 59.]

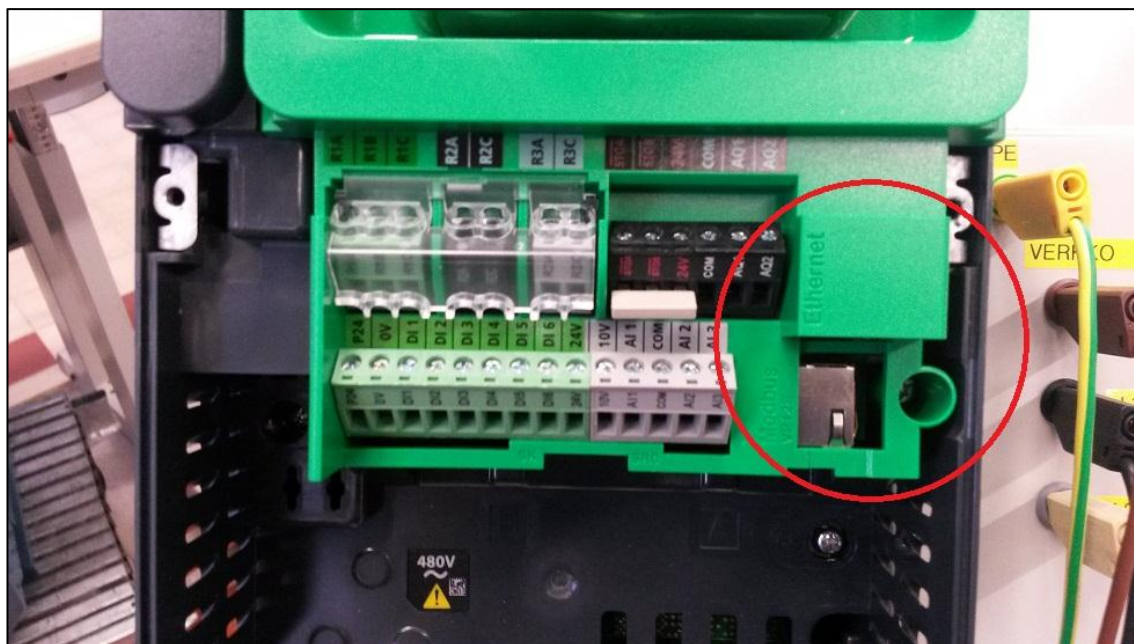


Kuva 18. Pumppukäyrän ja haluttujen toimialueiden asettelu web-selaimen kautta.

#### 5.4 Web-selaimeen pohjautuva käyttöliittymä ja sen käyttö

ATV600-sarjan taajuusmuuttajien erikoisominaisuutena on käyttöä ja monitorointia helpottava sisäänrakennettu web-palvelin, jonka käyttöliittymä mahdollistaa laitteen selkeämmän ja helpomman hallinnan. Selainpohjaista käyttöliittymää on mahdollista käyttää tietokoneella, tabletilla tai älypuhelimella. Langaton käyttö on mahdollista taajuusmuuttajaan erikseen liitettävän WiFi-donglen avulla. [57.]

Mikäli taajuusmuuttaja ei ole kytkettynä ethernet-verkkoon, voidaan tietokone liittää suoraan taajuusmuuttajan web-palvelimeen Ethernet-kaapelilla. Tämä tapahtuu kytkemällä RJ45-liittimellä varustettu kaapeli tietokoneen ja taajuusmuuttajan välille. Ensiksi taajuusmuuttajasta tulee poistaa ruuveilla kiinni oleva etumaski, jotta taajuusmuuttajan tietoliikenneporttiin päästään käsiksi. Taajuusmuuttajassa on kaksi RJ45-porttia, joista toinen on tarkoitettu ethernetiä varten, ja toinen on Modbus-sarjaportti. Tässä tapauksessa käytetään ethernet-porttia. Kuvassa 19 esitellään tietoliikenneporttien sijainti taajuusmuuttajassa.



Kuva 19. ATV630:n etumaskin alta paljastuvat portit.

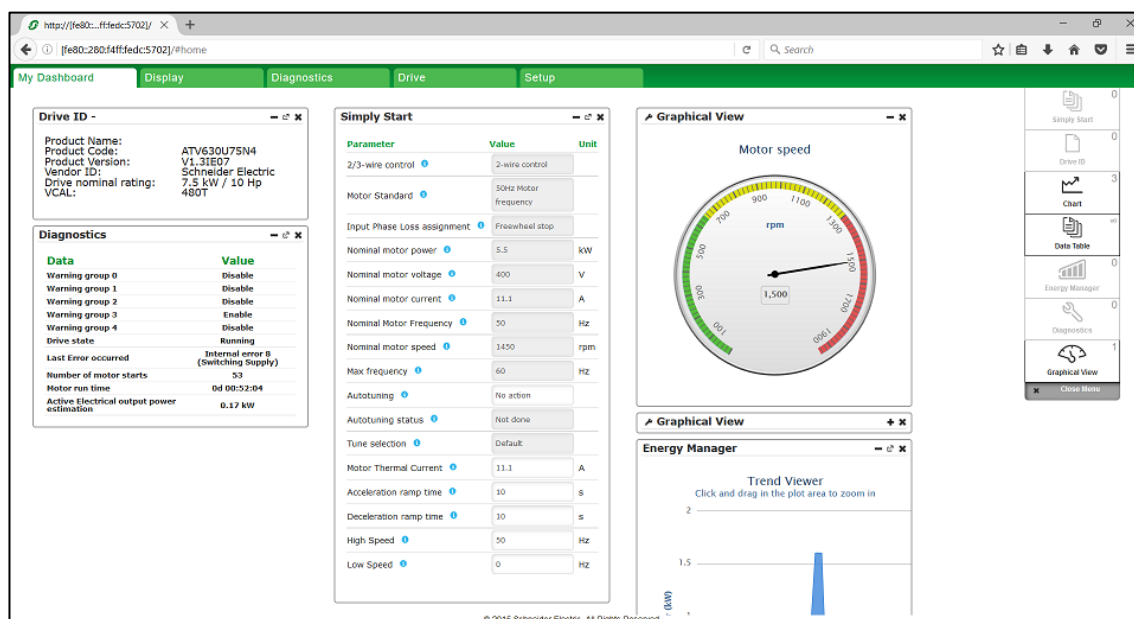
Kaapelin kytkemisen jälkeen tietokoneen pitäisi automaattisesti tunnistaa taajuusmuuttaja tiedostonhallinnassa sijaitsevassa verkkoyhteydet-kansiossa. Taajuusmuuttajan kuvaketta klikkaamalla päästään ikkunaan, joka kysyy käyttäjätunnusta ja salasanaa. Kun käyttäjätunnus ja salasana ovat syötetty, käyttöliittymä avautuu nettiselaimen. Mikäli taajuusmuuttaja on yhdistettynä ethernet-verkkoon, voidaan web-palvelimeen päästä käsiksi mistä tahansa verkon toimipisteestä syöttämällä nettiselaimen taajuusmuuttajan IP-osoite. Tarkemmat ohjeet tietokoneen liittämiseksi web-selainpohjaiseen käyttöliittymään ovat liitteessä 1.

Web-palvelimen käyttöliittymästä paljastuu 5 eri toimintoihin keskittyvää välilehteä:

- *My dashboard*-välilehden käyttäjä voi räätälöidä haluamallaan tavalla esittämään taajuusmuuttajaan ja prosessiin liittyviä toimintoja, kuten nopeutta, energiankulutusta, varoituksia jne. Esitystyyli, miten asioita halutaan monitoroida, on myös valittavissa. Vaihtoehtoina on erilaisia graafisia mittareita, taulukoita ja käyräesityksiä.
- *Display*-välilehdessä voidaan seurata tehokkuutta, prosessiin liittyviä toimintoja, parametreja ja yleistä tilannetta. Display-välilehti myös näyttää eri porttien konfiguraation ja porttien senhetkisen tilan.

- *Diagnostics*-välilehdessä voidaan tarkkailla taajuusmuuttajan tilaa, varoituksia, virheilmoituksia, verkon tilaa ja suorittaa kokeita taajuusmuuttajan toiminnoista.
- *Drive*-välilehdessä voidaan asettaa taajuusmuuttajan toimintaan liittyviä parametreja oppaan avustuksella.
- *Setup*-välilehdessä on mahdollista hallita tietoliikenneverkon asetuksia, siirtää ja vastaanottaa taajuusmuuttajan asetuksia, siirtää dataa ja lokeja sekä räätälöidä käyttöliittymän ulkoasua.

Kuvassa 20 on näkymä dashboard-välilehdestä. Havaitaan, että näkymä on samankaltainen kohdassa 2.5 esitellyn IoT-Ticket-pilvipalvelun dashboard-näkymän kanssa. My dashboard-välilehdessä sijaitsevassa Simply Start -ikkunassa on myös mahdollisuus asettaa sovelluksessa käytettävän moottorin parametrit.



Kuva 20. Web-käyttöliittymän dashboard-näkymä moottorin ollessa käynnissä.

## 5.5 Suoritetu koeajo ja arvioiti

Taajuusmuuttajan toimintaa tuli myös kokeiltua, jotta voitiin varmistaa käyttöliittymän toiminta käytännössä. Taajuusmuuttaja kytkettiin ABB:n valmistamaan 5,5 kW:n moottoriin, jonka nimellinen pyörimisnopeus oli 1460 r/min. Moottorin nimellisarvot

syötettiin kuvassa 20 näkyvään Simply Start -ikkunaan. Nimellisarvojen lisäksi syötettiin myös mm. kiihdytys- ja jarrutusajat. Dashboard-näkymä tuli kustomoitua sellaiseksi, että siitä pystyttiin myös havaitsemaan käynnissä olevan moottorin pyörimisnopeus ja energiankulutus.

Todettiin, että parametrien asettelu oli vaivatonta ja selkeää, ja että moottori toimi halutulla tavalla. Moottorin käynnistäminen ei onnistunut web-käyttöliittymän kautta, vaan se piti käynnistää erikseen taajuusmuuttajan käyttöpaneelistä. Käyttöliittymällä oli mahdollista valvoa käynnissä olevaa prosessia, ja parametrien asettelu oli mahdollista käytön ollessa pysäytettynä.

Käyttöliittymä vaikutti intuitiiviselta käyttää, ja käyttöliittymän arkkitehtuuri oli selkeä. Graafiset esitykset ja kaaviot prosessien toiminnoista vaikuttivat taajuusmuuttajan ohjelmointia selkeyttäviltä ja havainnolistavilta apuvälineiltä. Kuvassa 21 nähdään tietokoneen, taajuusmuuttajan ja moottorin muodostama kokonaisuus koekäyttötilanteessa.



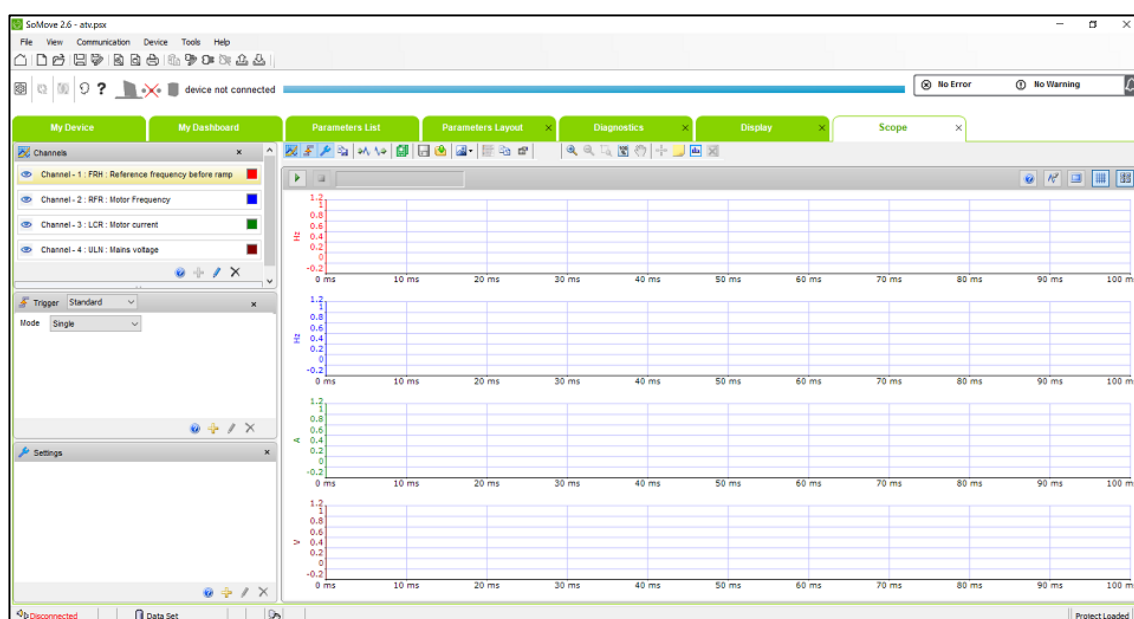
Kuva 21. ATV630 ja web-käyttöliittymän hyödyntäminen.

Arvioidakseen taajuusmuuttajan toimintaa ja ominaisuuksia paremmin, tulisi sitä käyttää ympäristössä, jota varten se on suunniteltu. Pitkäjaksoinen käyttö esim. pumppusovelluksissa mahdollistaisi syvällisemmän arvioinnin alaluvuissa 5.3 ja 5.4

esiintuotujen älykkäiden toimintojen suhteen. Edellä mainitun kattavamman tutkimuksen tekeminen ei ollut mahdollista koulun tiloissa, vaan se edellyttäisi laitteen käyttökokemusta erillisessä teollisessa ympäristössä. Taajuusmuuttaja kuitenkin havaittiin toimivaksi, ja web-selainpohjaisen käyttöliittymän todettiin olevan edistynyt tapa hallita taajuusmuuttajaa.

## 5.6 SoMove

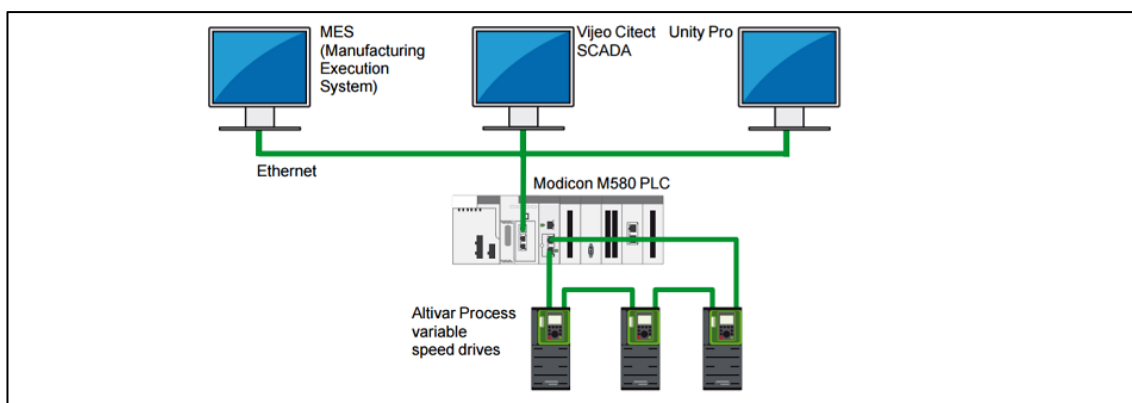
SoMove on Schneider Electricin nettisivuilta ladattavissa oleva sovellus, joka sisältää hyvin samankaltaisia toimintoja kuin web-selainpohjainen käyttöliittymä. SoMove hyödyntää ns. *DTM*-kirjastoa (*Device Type Manager*), jossa sovellukseen tulee erikseen ladata kyseiseen laitteeseen liittyvä DTM-tiedosto. SoMovella on mahdollisuus hallita lukuisia Schneider Electricin eri laitteita. DTM-tiedostoja hyödynnetään myös muissa Schneider Electricin valvonta- ja hallintasovelluksissa. Erilaisten konfiguraatioiden kopiointi ja siirto järjestelmästä toiseen siis helpottuu. SoMoven etuina voidaan pitää sitä, että samalla sovelluksella voidaan hallita useita eri laitteita, ja sovellusta voidaan käyttää offline-tilassa. Offline-tilassa käyttö mahdollistaa sen, että esim. parametreja ja tallennettuja tietoja voidaan käsitellä tietokoneella missä ja milloin tahansa. SoMovesta löytyy myös oskilloskooppi-toiminto (kuva 22), jota web-käyttöliittymässä ei ole.



Kuva 22. SoMoven oskilloskoopilla voidaan tutkia taajuutta, virtaa, jännitettä, momenttia jne.

## 5.7 Liitettävyys verkkoon

Vaikka pumppu- ja puhallinkäytöissä taajuusmuuttajat toimivat usein itsenäisinä yksikköinä, on olemassa suurempia prosessikokonaisuuksia, joissa on järkevää kytkeä taajuusmuuttajat osaksi laajempaa verkostoa ja erillisten ohjausjärjestelmien hallittaviksi. Taajuusmuuttajia voidaan ketjuttaa ja yhdistää valvontajärjestelmiin erilaisilla tavoilla. Kuvassa 23 on esitetty yksi mahdollinen tapa taajuusmuuttajien liittämiseksi valvontajärjestelmiin. Tässä tapauksessa taajuusmuuttajat ovat liitettynä ethernet-pohjaiseen verkkoon, ja informaatio kulkee uudenaikaisen PLC:n välityksellä ohjaus- ja valvontajärjestelmiin. Schneider Electric on pyrkinyt helpottamaan eri laitteiden ja järjestelmien välistä yhteensopivuutta soveltamalla FDT- ja DTM-teknologiaa.



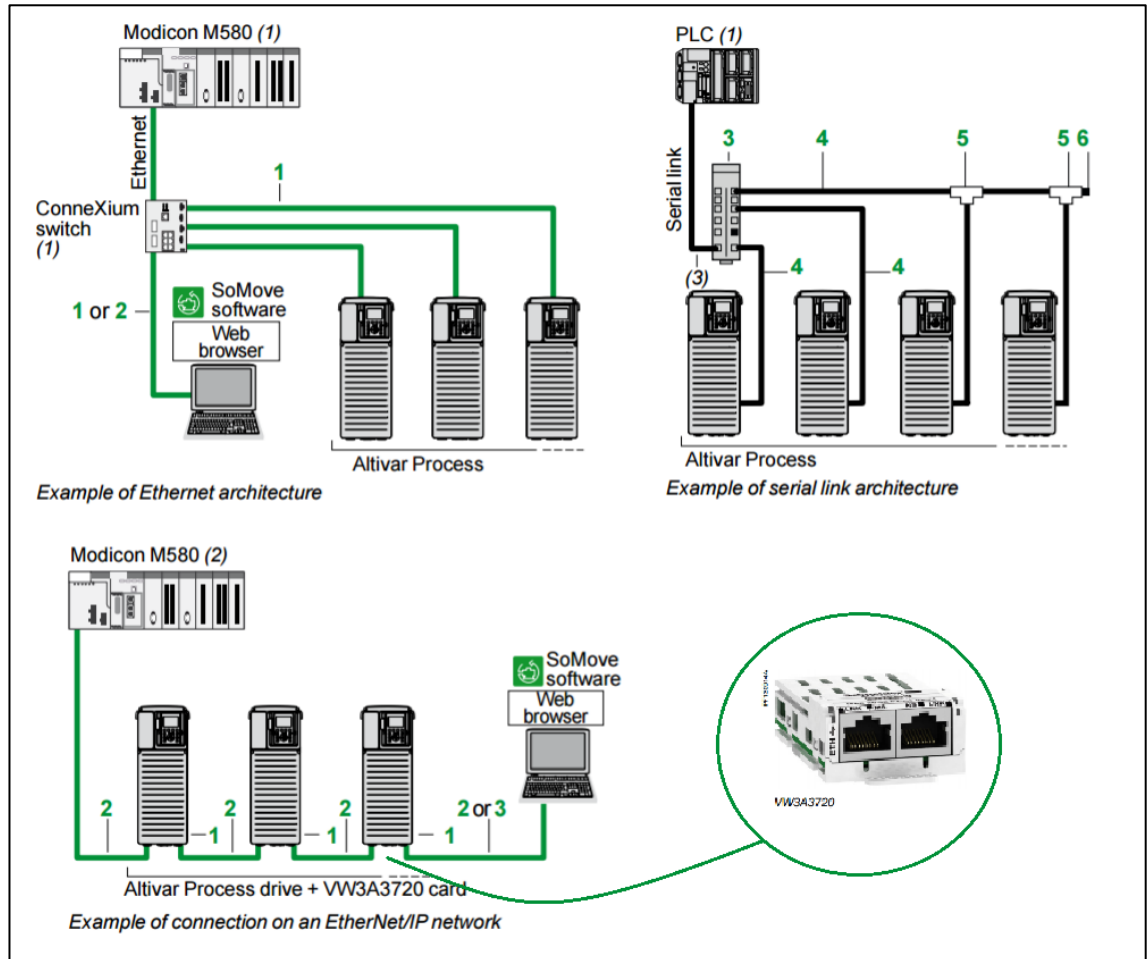
Kuva 23. ATV600-taajuusmuuttajien liittäminen automaatioverkkoon [57].

Vaikka ATV600-taajuusmuuttajasta löytyy vakiona ainoastaan ethernet- ja Modbus-tietoliikenneportit, ei taajuusmuuttajan liitettävyyden tarvitse rajoittua pelkästään niihin. ATV600-taajuusmuuttajiin on saatavissa laajennuskortteja, jotka mahdollistavat myös toisenlaisten standardien käytön. Laajennuskorteilla voidaan mahdollistaa ainakin seuraavat kommunikointistandardit:

- CANopen (mahdollistaa myös RJ45-porttien ketjuttamisen)
- Profinet
- Profibus
- DeviceNet.



Laajennuskorteilla on mahdollista myös lisätä ethernet- ja Modbus-porttien määrää. Erilaisia kaksoisporttikortteja (kuvan 25 oikea alareuna) voidaan käyttää, kun halutaan ketjuttaa taajuumuuttajia. Kuvassa 25 on esitetty erilaisia mahdollisia ratkaisuja taajuusmuuttajien liittämiseksi osaksi verkkoa. [57.]



Kuva 24. Ethernet-, sarjalinkki- ja ketjuttamis-arkkitehtuuri ATV600-käytöissä [57.]

Pilvipalveluihin (esim. Wapice, Microsoft Azure jne.) ATV600-taajuusmuuttajat voidaan liittää suoraan. ATV600:n tarjoama data voi kulkea pilvipalveluihin myös erillisten laitteiden (PLC, HMI, IoT Gateway jne.) ja valvontajärjestelmien kautta. [60.]

## 6 Yhteenveto

### 6.1 Tutkimustyö

Työn aikana kävi selväksi IoT:n moniulotteinen luonne. Internet of Things käsittää valtavan määrän erilaisia ilmiöitä ja osatekijöitä. Internet tarjosi käytännössä rajattomasti aiheeseen liittyvää materiaalia, ja erääksi haasteeksi muodostuikin relevantin tiedon suodattaminen tarjolla olevasta massasta. Löydettävissä oleva tieto oli usein myös hajanaista ja suurpiirteistä. Asioiden tiivistäminen selkeiksi kokonaisuuksiksi edellytti pitkäjännitteistä palasien yhdistelyä. Kävi myös ilmi, että aiheesta löytyy eriäviä mielipiteitä. Käsitykset siitä, mitä IoT:hen liittyvillä eri termeillä tarkoitetaan ja miten IoT tulee vaikuttamaan tulevaisuuteen, vaihtelivat. Tässä työssä on nostettu esiin sellaisia aiheeseen liittyviä totuuksia, jotka toistuivat useammassa eri lähteessä. Näin ollen uskallan olla vakuuttunut siitä, että työssä esitetyillä asioilla on riittävä totuusarvo.

Internetistä löytyviä artikkeleita lukiessa törmäsi jatkuvasti uusiin termeihin ja konsepteihin, mikä pakotti syventymään tarkemmin näihin uusiin tuttavuuksiin. Tutkimustyö oli ikään kuin monihaarainen polku, jota tuli seurattua aina houkuttelevimpaan suuntaan. Kun tietyt asiat toistuivat tarpeeksi usein, päätyivät ne mahdollisesti osaksi tätä työtä, riippuen asioiden relevanttiudesta.

Tässä työssä käsitelty esineiden internet on rajattu IoT:n sektori, johon päätyivät ainoastaan tutkittavan taajuusmuuttajan toiminnan ymmärtämiseksi vaadittavat oleelliset asiat. Pois rajattuja merkittäviä IoT:n eri osa-alueita olivat mm. robotiikka, sähköjakelu, energiantuotanto, liikenne ja terveydenhuoltotekniikka.

### 6.2 ATV600-taajuusmuuttajan ominaisuudet ja positio

Teollinen internet, teollisuus 4.0, älykkäät koneet, datan analysointi, pilvitietokannat, ennakoiva huolto, pilvipalvelut, etäkäyttö, langattomuus ja palvelukeskeinen arkkitehtuuri olivat asioita, jotka toistuivat tutkittaessa IoT:ta. Voitiin havaita, että juuri nuo kyseiset asiat liittyivät oleellisesti myös tutkimuksen kohteena olleeseen Schneider Electricin taajuusmuuttajaan.



Älykkään tekniikan ja internetin hyödyntäminen taajuusmuuttajan toiminnassa mahdollistavat vähäisemmät käyttökustannukset. Energiankulutus vähenee paremman optimoinnin ansiosta. Taajuusmuuttajan parametrien asettelu ja hienosäätö helpottuvat ja nopeutuvat graafisen käyttöliittymän ansiosta. Alhaallaoloaika vähenee ongelmat ennakoivan älykkyyden ansiosta. Vianetsintä on vaivattomampaa käyttöliittymän diagnostiikka-toimintojen ansiosta. Palveluiden ja varaosien saaminen tehostuu älykkäiden ominaisuuksien ja internettiin kytkettävyyden ansiosta. Prossien valvonta, optimointi ja kehittäminen mahdollistuvat paremmin pilvipalveluihin liitettävyyden johdosta. Integroituminen osaksi teollista verkkoa helpottuu monipuolisten standardien ja liitännäismahdollisuuksien ansiosta.

Voidaan tehdä yhteenveto, että ATV600-taajuusmuuttaja kattaa kaikki sellaiset näköpiirissä olevat vaadittavat ominaisuudet, joita tulevaisuuden uudistunut teollinen ympäristö tulee edellyttämään. Kyseessä on siis tulevaisuuden taajuusmuuttaja.

### 6.3 Arvio tulevaisuuden teollisuudesta

Oma arvioni on, että ns. teollisuuden neljännessä vallankumouksessa on enemmänkin kyse jatkuvassa muutostilassa olevasta kehityksestä. Teollisuus kyllä tehostuu uuden tekniikan ansiosta, mutta se tapahtuu työntekijöiden kustannuksella. Toisaalta ilmaantuu myös tarvetta uudentilaisille palveluille ja yrityksille. Sitä, kuinka nopeasti muutos etenee, on hankala arvioida. Tutkimusta tehdessäni huomasin, että monissa lähteissä oltiin sitä mieltä, että teollisuuden uudistuminen on vielä hyvin varhaisessa vaiheessa. Varmana voidaan kuitenkin pitää, että suurempi rakenteellinen muutos tulee olemaan todellinen.

## Lähteet

- 1 An Introduction to the Internet of Things. 2013. Verkkodokumentti. Lopez research.  
<[www.cisco.com/c/dam/en\\_us/solutions/trends/iot/introduction\\_to\\_IoT\\_november.pdf](http://www.cisco.com/c/dam/en_us/solutions/trends/iot/introduction_to_IoT_november.pdf)>. Luettu 6.2.2017.
- 2 Enabling Cloud-Connected Digital Services with the EcoStruxure Platform. 2016. Verkkovideo. Schneider Electric. <[www.schneider-electric.com/b2b/en/campaign/innovation/platform.jsp](http://www.schneider-electric.com/b2b/en/campaign/innovation/platform.jsp)>. Luettu 6.2.2017.
- 3 Brown, Eric. 2016. Who Needs the Internet of Things? Verkkodokumentti. Linux.com. <[www.linux.com/news/who-needs-internet-things](http://www.linux.com/news/who-needs-internet-things)>. Luettu 6.2.2017.
- 4 De Bernardini, Luigi. 2015. Industry 4.0 or Industrial Internet of Things—What's Your Preference? Verkkodokumentti. Automationworld. <[www.automationworld.com/industry-40-or-industrial-internet-things-whats-your-preference](http://www.automationworld.com/industry-40-or-industrial-internet-things-whats-your-preference)>. Luettu 8.2.2017.
- 5 Industry 4.0. 2017. Verkkodokumentti. Wikipedia. <[en.wikipedia.org/wiki/Industry\\_4.0#cite\\_note-Definition-I4.0-1](http://en.wikipedia.org/wiki/Industry_4.0#cite_note-Definition-I4.0-1)>. Päivitetty 30.3.2017. Luettu 8.2.2017.
- 6 Kagermann, Henning, Wahlster, Wolfgang & Helbig, Johannes. 2013. Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0. Loppuraportti. National Academy of Science and Engineering.
- 7 Sniderman, Brenna, Mahto, Monika & Cotteleer, Mark. 2016. Industry 4.0 and manufacturing ecosystems. Verkkodokumentti. Deloitte University Press. <[dupress.deloitte.com/content/dam/dup-us-en/articles/manufacturing-ecosystems-exploring-world-connected-enterprises/DUP\\_2898\\_Industry4.0ManufacturingEcosystems.pdf](http://dupress.deloitte.com/content/dam/dup-us-en/articles/manufacturing-ecosystems-exploring-world-connected-enterprises/DUP_2898_Industry4.0ManufacturingEcosystems.pdf)>. Luettu 8.2.2017.
- 8 Yritysjohdon opas IoT:n ja teollisen internetin hyödyntämiseen. 2015. Verkkodokumentti. Quva elisa. <[quva.fi/site/attachments/yritysjohdon\\_opas\\_IoT\\_ja\\_teollisen\\_internetin\\_hyodyntamiseen.pdf](http://quva.fi/site/attachments/yritysjohdon_opas_IoT_ja_teollisen_internetin_hyodyntamiseen.pdf)>. Luettu 6.2.2017.
- 9 What is the key benefit that digitalization brings to manufacturing? 2016. Verkkovideo. Industrial Internet Now. <<http://industrialinternetnow.com/what-is-the-key-benefit-that-digitalization-brings-to-manufacturing>>. Luettu 8.2.2017.
- 10 Polsonetti, Chantal. 2014. Know the Difference Between IoT and M2M. Verkkodokumentti. Automationworld. <[www.automationworld.com/cloud-computing/know-difference-between-iot-and-m2m](http://www.automationworld.com/cloud-computing/know-difference-between-iot-and-m2m)>. Luettu 17.2.2017.

- 11 Cloud Computing. 2011. Verkkodokumentti. Schneider Electric.  
<[http://www2.schneider-electric.com/documents/product-services/en/services/professional-services/cloud\\_computing\\_engA4\\_2012.pdf](http://www2.schneider-electric.com/documents/product-services/en/services/professional-services/cloud_computing_engA4_2012.pdf)>. Luettu 17.2.2017.
- 12 Hassan, Qusay. 2011. Demystifying Cloud Computing. Verkkodokumentti. Faculty of Computers and Information, Mansoura University, Egypt.  
<<http://static1.1.sqspcdn.com/static/f/702523/10181434/1294788395300/201101-Hassan.pdf?token=ZPj%2BkhsJuLe9V0nBnDYk%2BKHceys%3D>>. Luettu 14.2.2017.
- 13 New Automation Technology. 2015. Esite. Beckhoff Automation. Luettu 19.4.2017.
- 14 What is Cloud Computing? 2016. Verkkodokumentti. Apcera.  
<[www.apcera.com/definitions/what-cloud-computing](http://www.apcera.com/definitions/what-cloud-computing)>. Luettu 14.2.2017.
- 15 Cloud computing. 2017. Verkkodokumentti.  
<[palpo.github.io/slides/2016/cloud.pdf](http://palpo.github.io/slides/2016/cloud.pdf)>. Luettu 14.2.2017.
- 16 Esineiden Internetin Office. 2016. Verkkodokumentti. Wapice Oy. <[iot-ticket.com/fi/alusta](http://iot-ticket.com/fi/alusta)>. Luettu 19.4.2017.
- 17 IoT-Ticket.com, Internet of Things 2016. 2016. Verkkovideo. IoT-Ticket.com.  
<[www.youtube.com/watch?v=JzF07XyqYzA](http://www.youtube.com/watch?v=JzF07XyqYzA)>. Luettu 19.4.2017.
- 18 McLellan, Charles. 2013. SaaS: Pros, cons and leading vendors. Verkkodokumentti. ZDnet. <[www.zdnet.com/article/saas-pros-cons-and-leading-vendors](http://www.zdnet.com/article/saas-pros-cons-and-leading-vendors)>. Luettu 17.2.2017.
- 19 Schröder, Christian. 2017. The Challenges of Industry 4.0 for Small and Medium-sized Enterprises. Verkkodokumentti. Friedrich-Ebert-Stiftung.  
<<http://library.fes.de/pdf-files/wiso/12683.pdf>>. Luettu 25.2.2017.
- 20 Schrauf, Stefan & Bertram, Philipp. 2016. Industry 4.0 & How digitization makes the supply chain more efficient, agile, and customer-focused. Verkkodokumentti. PWC. <[www.strategyand.pwc.com/media/file/Industry4.0.pdf](http://www.strategyand.pwc.com/media/file/Industry4.0.pdf)>. Luettu 19.2.2017.
- 21 Prescriptive Maintenance. 2016. Verkkodokumentti. Mtell.  
<[mtell.com/technology](http://mtell.com/technology)>. Luettu 19.2.2017.
- 22 Salo, Immo. 2016. Smart Machines. Luentokalvo. Big data.  
<[www.bigdata.fi/tags/smart-machines](http://www.bigdata.fi/tags/smart-machines)>. Luettu 20.2.2017.
- 23 Beudert, Rainer, Juergensen, Leif & Weiland, Jochen. 2017. Understanding Smart Machines: How They Will Shape the Future. Verkkodokumentti. Schneider

- Electric. <<http://www.mhi.org/media/members/15373/131111776789208915.pdf>>. Luettu 20.2.2017.
- 24 Implementing Industrie 4.0: This is how it works! 2016. Verkkovideo. Die Elektroindustrie. <[www.youtube.com/watch?v=ZCLHojlj7eA](http://www.youtube.com/watch?v=ZCLHojlj7eA)>. Luettu 20.2.2017.
  - 25 Geissbauer, Reinhard, Schrauf, Stefan, Koch, Volkmar & Kuge, Simon. 2014. Industry 4.0 – Opportunities and Challenges of the Industrial Internet. PWC. <[i40-self-assessment.pwc.nl/i40/study.pdf](http://i40-self-assessment.pwc.nl/i40/study.pdf)>. Luettu 25.2.2017.
  - 26 Industrie 4.0 – Legal challenges of digitalisation. 2015. Verkkodokumentti. Bundesverband der Deutschen Industrie e.V. (BDI), Noerr LLP. <[www.noerr.com/~media/Noerr/PressAndPublications/Brochures/studien/Legal-challenges-of%20digitalisation-Industrie-40.pdf](http://www.noerr.com/~media/Noerr/PressAndPublications/Brochures/studien/Legal-challenges-of%20digitalisation-Industrie-40.pdf)>. Luettu 25.2.2017.
  - 27 Brandt, John & Nesi, John. 2016. Industrial Internet of Things Deeper Dive. Verkkovideo. Rockwell Automation. <[www.youtube.com/watch?v=27k9clbmjhE](http://www.youtube.com/watch?v=27k9clbmjhE)>. Luettu 28.3.2017.
  - 28 Herman, L., Stephen. 2014. Industrial Motor Control. Delmar. 7th ed.
  - 29 Niiranen, Jouko. 1999. Sähkömoottorikäytön digitaalinen ohjaus. Otatieto. 2. painos.
  - 30 PLC Communications – Coming of Age. 2017. Verkkodokumentti. Library.AutomationDirect.com <[library.automationdirect.com/plc-communications-coming-of-age](http://library.automationdirect.com/plc-communications-coming-of-age)>. Luettu 1.3.2017.
  - 31 Logo! 2017. Verkkodokumentti. Siemens. <[www.siemens.fi/fi/industry/teollisuuden\\_tuotteet\\_ja\\_ratkaisut/tuotesivut/automaatiotekniikka/ohjelmoitavat\\_logiikat\\_simatic/logo.htm](http://www.siemens.fi/fi/industry/teollisuuden_tuotteet_ja_ratkaisut/tuotesivut/automaatiotekniikka/ohjelmoitavat_logiikat_simatic/logo.htm)>. Luettu 26.2.2017.
  - 32 PLC vs. PAC: What's the Difference? 2010. Verkkodokumentti. PLC Engineers. <[www.plcengineers.com/plc\\_vs\\_pac.html](http://www.plcengineers.com/plc_vs_pac.html)>. Luettu 26.3.2017.
  - 33 DCS or PLC or PAC or RTU? 2015. Verkkodokumentti. Control Real English. <[controlreal.com/en/dcs-or-plc-or-pac-or-rtu](http://controlreal.com/en/dcs-or-plc-or-pac-or-rtu)>. Luettu 26.3.2017.
  - 34 PLC vs. DCS: Which is Right for Your Operation? 2014. Verkkodokumentti. Automationworld. <[www.automationworld.com/dcs/plc-vs-dcs-which-right-your-operation](http://www.automationworld.com/dcs/plc-vs-dcs-which-right-your-operation)>. Luettu 26.3.2017.
  - 35 Bharadwaj, Reddy. 2015. Difference between DCS & PLC Systems. Verkkodokumentti. Instrumentation Tools. <[instrumentationtools.com/difference-between-dcs-plc-systems](http://instrumentationtools.com/difference-between-dcs-plc-systems)>. Luettu 26.3.2017.

- 36 Sens, Thierry. 2016. Is IoT replacing SCADA. Verkkodokumentti. Nokia. <[blog.networks.nokia.com/mobile-networks/2016/08/29/iot-replacing-scada](http://blog.networks.nokia.com/mobile-networks/2016/08/29/iot-replacing-scada)>. Luettu 1.3.2017.
- 37 Hannaby, David. 2016. Sensors look smart for Industry 4.0. Smart Machines & Factories. <[http://smartmachinesandfactories.com/news/fullstory.php/aid/17/Sensors\\_look\\_smart\\_for\\_Industry\\_4.0.html](http://smartmachinesandfactories.com/news/fullstory.php/aid/17/Sensors_look_smart_for_Industry_4.0.html)>. Luettu 26.2.2017.
- 38 Rouse, Margaret. 2017. Smart sensor. Verkkodokumentti. IoT Agenda. <[internetofthingsagenda.techtarget.com/definition/smart-sensor](http://internetofthingsagenda.techtarget.com/definition/smart-sensor)>. Luettu 26.2.2017.
- 39 Greenfield, David. 2012. RTU or PLC: Which is Right for You? Verkkodokumentti. Automationworld. <[www.automationworld.com/rtu-or-plc-which-right-you](http://www.automationworld.com/rtu-or-plc-which-right-you)>. Luettu 27.3.2017.
- 40 ABB's new condition monitoring solution for low voltage motors. 2017. Verkkodokumentti. ABB. <[new.abb.com/motors-generators/service/advanced-services/smart-sensor](http://new.abb.com/motors-generators/service/advanced-services/smart-sensor)>. Luettu 26.2.2017.
- 41 Borghese, Julia. 2014. Smart Factories – the strategic role of wireless sensor networks. Verkkodokumentti. Automation.com. <[www.automation.com/automation-news/article/smart-factories-the-strategic-role-of-wireless-sensor-networks](http://www.automation.com/automation-news/article/smart-factories-the-strategic-role-of-wireless-sensor-networks)>. Luettu 26.2.2017.
- 42 Campo, Elisa. 2016. How Will Industry 4.0 Influence the Future of PLCs? Verkkodokumentti. IEN. <[www.ien.eu/article/how-will-industry-40-influence-the-future-of-plcs](http://www.ien.eu/article/how-will-industry-40-influence-the-future-of-plcs)>. Luettu 1.3.2017.
- 43 Gonzalez, Carlos. 2016. Upgrade Old Networks with IoT Smart Machines. Verkkodokumentti. Machine Design. <[machinedesign.com/iot/interview-upgrade-old-networks-iot-smart-machines](http://machinedesign.com/iot/interview-upgrade-old-networks-iot-smart-machines)>. Luettu 1.3.2017.
- 44 Paavola, Marko & Leiviska, Kauko. 2010. Wireless Sensor Networks in Industrial Automation. Verkkodokumentti. Intech. <[www.intechopen.com/books/factory-automation/wireless-sensor-networks-in-industrial-automation](http://www.intechopen.com/books/factory-automation/wireless-sensor-networks-in-industrial-automation)>. Luettu 1.3.2017.
- 45 Lim, Kris. 2015. Electric Motor Control: What are the drawbacks of a VFD (variable-frequency drive)? Verkkodokumentti. Quora. <[www.quora.com/Electric-Motor-Control-What-are-the-drawbacks-of-a-VFD-variable-frequency-drive](http://www.quora.com/Electric-Motor-Control-What-are-the-drawbacks-of-a-VFD-variable-frequency-drive)>. Luettu 3.4.2017.
- 46 IoT and SCADA: Complimentary technologies for Industry 4.0. 2017. Verkkodokumentti. Altizon. <[altizon.com/iot-and-scada-complimentary-technologies-that-are-stepping-stone-to-industry-4-0](http://altizon.com/iot-and-scada-complimentary-technologies-that-are-stepping-stone-to-industry-4-0)>. Luettu 27.3.2017.
- 47 Internet of Things delivers innovative remote services for drives maintenance planning. 2017. Verkkodokumentti. ABB.

- <[new.abb.com/about/technology/iotsp/top-stories/customer-stories/innovative-remote-services-for-drives-maintenance-planning](http://new.abb.com/about/technology/iotsp/top-stories/customer-stories/innovative-remote-services-for-drives-maintenance-planning)>. Luettu 15.4.2017.
- 48 IoT and Industry 4.0: Powered by TwinCAT. 2015. Verkkodokumentti. Beckhoff Automation GmbH & Co. <[download.beckhoff.com/download/document/catalog/Beckhoff\\_TwinCAT\\_Industry\\_40\\_IoT\\_e.pdf](http://download.beckhoff.com/download/document/catalog/Beckhoff_TwinCAT_Industry_40_IoT_e.pdf)>. Luettu 20.4.2017.
  - 49 Taajuusmuuttajat. 2017. Verkkodokumentti. SähköNet. <[blogit.jao.fi/sahkonet/sahko-ja-automaatioasennukset/oppimistehtavat/teollisuuden-sahkoasennukset/moottori-kaytot/taajuusmuuttajat](http://blogit.jao.fi/sahkonet/sahko-ja-automaatioasennukset/oppimistehtavat/teollisuuden-sahkoasennukset/moottori-kaytot/taajuusmuuttajat)>. Luettu 23.3.2017.
  - 50 10 Benefits Adjustable-Speed AC Drives Provide to Industrial Users. 2017. Verkkodokumentti. Automation.com. <[www.automation.com/library/articles-white-papers/motor-drives-control/10-benefits-adjustable-speed-ac-drives-provide-to-industrial-users](http://www.automation.com/library/articles-white-papers/motor-drives-control/10-benefits-adjustable-speed-ac-drives-provide-to-industrial-users)>. Luettu 23.3.2017.
  - 51 Garret, Ron. 2014. Electric Motor Control: What are the drawbacks of a VFD (variable-frequency drive)? Verkkodokumentti. Quora. <[www.quora.com/Electric-Motor-Control-What-are-the-drawbacks-of-a-VFD-variable-frequency-drive](http://www.quora.com/Electric-Motor-Control-What-are-the-drawbacks-of-a-VFD-variable-frequency-drive)>. Luettu 3.4.2017.
  - 52 Tekninen opas nro 5 - Laakerivirrat uusissa vaihtovirtakäytöissä. 2000. Verkkodokumentti. ABB. <[library.e.abb.com/public/4afd9ccbf5eb991fc1256d280083a4d2/Tekninenopasnro5.pdf](http://library.e.abb.com/public/4afd9ccbf5eb991fc1256d280083a4d2/Tekninenopasnro5.pdf)>. Luettu 3.4.2017.
  - 53 Collins, Danielle. 2016. FAQ: What are current source inverters and voltage source inverters? Verkkodokumentti. WTW Media LLC. <[www.motioncontroltips.com/faq-what-are-current-source-inverters-and-voltage-source-inverters](http://www.motioncontroltips.com/faq-what-are-current-source-inverters-and-voltage-source-inverters)>. Luettu 11.4.2017.
  - 54 TTT-käsikirja. 2000. Verkkodokumentti. ABB. <[www.oamk.fi/~kurki/automaatiolabrat/TTT/18\\_S%84hk%94moottorik%84yt%94t.pdf](http://www.oamk.fi/~kurki/automaatiolabrat/TTT/18_S%84hk%94moottorik%84yt%94t.pdf)>. Luettu 11.4.2017.
  - 55 Tuusa, Heikki. 2017. Sähkömoottorikäytöt. Verkkodokumentti. <[www.leenakorpinen.fi/archive/svt\\_opus/11sahkomoottorikaytot.pdf](http://www.leenakorpinen.fi/archive/svt_opus/11sahkomoottorikaytot.pdf)>. Luettu 11.4.2017.
  - 56 Schneider Electric. 2017. Verkkodokumentti. Wikipedia. <[en.wikipedia.org/wiki/Schneider\\_Electric](http://en.wikipedia.org/wiki/Schneider_Electric)>. Päivitetty 11.4.2017. Luettu 18.4.2017.
  - 57 Variable speed drives Altivar Process ATV600. 2017. Verkkodokumentti. Schneider Electric. <[download.schneider-electric](http://download.schneider-electric.com)>.

tric.com/files?p\_Reference=DIA2ED2140502EN&p\_EnDocType=Catalog&p\_File\_Id=6793683882&p\_File\_Name=DIA2ED2140502EN.pdf>. Luettu 17.4.2017

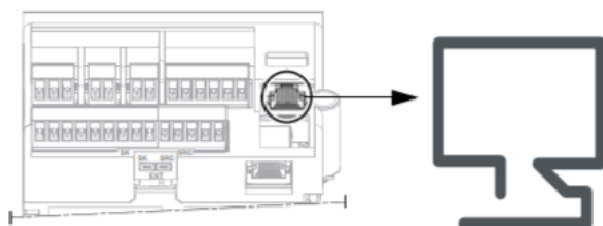
- 58 Hampikian, Philippe. 2014. How Service-Oriented Drive (SOD) Deployments Improve VSD Driveline Uptime. Verkkodokumentti. Schneider Electric. <download.schneider-electric.com/files?p\_enDocType=White+Paper&p\_File\_Id=1390503938&p\_File\_Name=998-2095-06-06-14AR0\_EN.pdf&p\_Reference=998-2095-06-06-14AR0\_EN>. Luettu 30.3.2017.
- 59 Orava, Lauri. 2017. Product Application Engineer - Drives, Schneider Electric, Tampere. Keskustelu 18.4.2017, 26.4.2017.
- 60 Hietanen, Heikki. 2017. Offer Manager: Industrial components & Drives, Schneider Electric, Espoo. Keskustelu 13.4.2017.
- 61 Your Process Deserves More than Just a Drive! 2014. Schneider Electric. Verkkovideo. <www.youtube.com/watch?v=YGelzX7nBEs&t=59s>. Luettu 21.4.2017.

## Ohjeet tietokoneen liittämiseksi ATV600:n web-palvelimeen

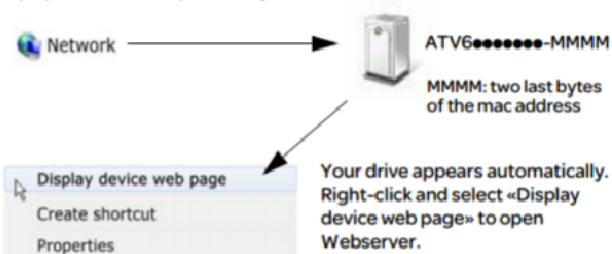
### Webserver Embedded

Steps to follow to access [Simply start]

1/ Connect the drive to your PC with an Ethernet cable



2/ Open Network Explorer on your PC.



Note: If the icon doesn't appear, contact your IT administrator for the firewall or antivirus configuration.

3/ On first connection, default connection IDs are:

- User Name = ADMIN
- Password = ADMIN



4/ Change default connection ID (User Name and Password).

5/ Access to [Simply start]  
Select **Home** tab.





## Connection to the Webserver

### Access

The webserver can be accessed from standard browsers.

In the following example, the drive has received the IP address 10.0.0.5:



First connect the computer to the drive by typing `http://` followed by the drive IP address.

You are asked to first enter a **User Name** and a **Password**.

By default the user name is ADMIN and the password is also ADMIN.

Once connected, the webserver home page is displayed.

Using IPV6 network discovery service, there is no need to set IP parameters. The drive appears automatically in the network explorer of the PC while physically connected.

The drive is identified as ATV6ppppppp-MMMM where MMMM is the two last bytes of the MAC address.

Right-click and select **Display device web page** to open the webserver.

### User Rights - Password and User Names

A new password is required if you are connecting to the webserver for the first time. Default security access rule requires minimum eight characters for the new password.

The user names and the password of both level can be modified from the administration section.

